

中 国 模 具 设 计 大 典  
CHINA DIE & MOLD DESIGN CANON

第

15

篇

## 铝型材挤压模设计

主 编 赵 云 路

编 写 赵 云 路    刘 静 安  
王 纲

审 稿 唐 志 玉



中国机械工程学会  
CMDC 中国模具设计大典编委会



# 第1章 挤压模设计基础

## 1 铝型材应用

铝及其合金具有一系列优异特性,在金属材料的应用中仅次于钢材而居第2位。目前,全世界铝材的消费量在1 800万t以上,其中用于交通运输(包括铁道车辆、汽车、摩托车、自行车、汽艇、快艇、飞机等)的铝材约占27%,用于建筑装修的铝材约占23%,用于包装工业的铝材约占20%。我国铝材消费趋向更有独特的情况,尤其是20世纪80年代以来,建筑铝型材、特薄铝板、软包装铝箔等急剧增加,铝型材的应用已经扩展到了国民经济的各个领域和人民生活的各个层面。1980年我国铝型材的消费量约为30万t,到2000年猛增至217万t,20年间增长了3.2倍。

## 2 铝型材加工

近年来随着科学技术的不断进步和国民经济的飞速发展,使用部门对铝合金型材的尺寸精度、外观造型及表面粗糙度等质量指标提出了新的要求。现在,采用挤压成形是铝型材的主要加工方法。归纳起来,挤压成形有下列特点。

1) 在挤压过程中,被挤压金属在变形区能获得比轧制锻造更为强烈和均匀的三向压缩应力状态,这就可充分发挥被加工金属本身的塑性。因此,用挤压法可加工那些用轧制法或锻造法加工有困难、甚至无法加工的低塑性、难变形金属或合金。对于某些必须用轧制或锻造法进行加工的材料,如粉末钛材、5A06、7A04、MB15等合金的锻件等,也常用挤压法先对铸锭进行开坯,以改善其组织,提高其塑性。目前,挤压仍然是可以用铸锭直接生产产品的最优越的方法。

2) 挤压法不但可以生产截面形状较简单的管、棒、型、线产品,而且可生产截面变化、形状极复杂的型材和管材,如阶段变截面型材、逐渐变截面型材、带异形加强肋的整体壁板型材、形状极其复杂的空心型材和变截面管材、多孔管材等。这类产品用轧制法或其他压力加工方法生

产是很困难的,甚至是不可能的。异形整体型材可简化冷成形、铆焊、切削、镗铣等复杂的工艺过程,这对于减少设备投资、节能、提高金属利用率、降低产品的总成本具有重大的社会经济效益。

3) 挤压加工灵活性很大,只需要更换模具等挤压工具即可在一台设备上生产形状、规格和品种不同的制品,更换挤压工具的操作简便快捷,费时少,工效高。这种加工方法对订货批量小、品种规格多的轻金属材料加工生产厂最为经济适用。

4) 挤压制品的精度高,制品表面质量也较好。随着工艺水平的提高和模具质量的改进,现已能生产壁厚为 $0.6 \pm 0.10$  mm、表面粗糙度达 $Ra1.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 的超薄、超高精度、高表面质量的型材。这不仅大大减少总工作量和简化后道工序,同时也提高了被挤压金属材料的综合利用率和成品率。

5) 挤压过程对金属的力学性能有良好的影响。特别是对某些具有挤压效应的铝合金来说,其挤压制品在淬火时效后,纵向抗拉强度和屈服强度( $\sigma_b$ 、 $\sigma_{0.2}$ )远比其他方法加工的同类产品要高。这对挖掘铝合金材料潜力,满足特殊使用要求具有实用价值。

6) 工艺流程简短,生产操作方便,一次挤压即可获得比热模锻或成形轧制等方法面积更大的整体结构部件,而且设备投资少,模具费用低。

7) 轻金属及轻合金具有良好的挤压特性,特别适合于挤压加工,如铝及铝合金可以通过多种挤压工艺和多种模具结构进行加工。近年来,由于平面分流组合模的不断改进和发展,通过焊合挤压法来生产复杂的空心铝制品获得了广泛的应用。

## 3 铝型材截面设计

采用挤压法生产铝型材符合低投入高产出的生产原则。但它要受到许多因素的影响,在型材

截面设计时就要考虑到其挤压成形的可能性, 这些因素归纳为以下 8 个方面。

### (1) 截面大小

型材截面大小用其外接圆来度量。外接圆越大, 所需挤压力就越大。一般每台挤压机能挤压出截面型材的最大外接圆并非固定不变, 它与挤压筒直径有关, 如 20MN 挤压机的挤压筒直径通常为 170~200 mm, 挤压型材的最大外接圆一

般比挤压筒直径小 25~50 mm, 挤压空心型材时则应更小一些。

### (2) 截面形状

铝型材按截面形状可分为实心型材、半空心型材及空心型材三种类型, 如图 15.1-1 所示。

1) 实心型材 即是一般的角形、槽形等截面型材。

2) 半空心型材 根据截面形状又可分为 3 级:

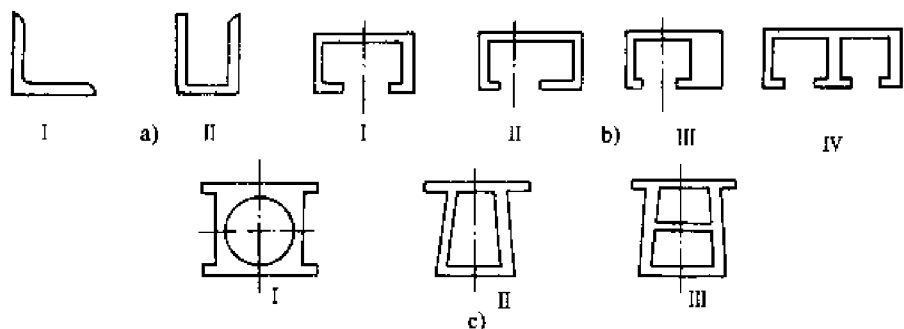


图 15.1-1 铝型材截面分类

a) 实心型材 b) 半空心型材 c) 空心型材

① 半空心型材 I 级: 从等壁厚围起来的开口处中心线看是左右对称的。

② 半空心型材 II 级: 壁厚分布是非对称的。

③ 半空心型材 III 级: 从开口部分看是左右对称的, 但截面为两个非对称半空心型材。

3) 空心型材 根据截面形状也可分为 3 级:

① 空心型材 I 型: 空心部分为圆形, 且直径较大, 但截面形状是对称的, 或内圆较小, 而外形是非对称的。

② 空心型材 II 级: 只有一个空心部分, 且为非圆形的。

③ 空心型材 III 级: 除 I、II 级以外所有空心型材, 壁厚是均一的, 即圆形、正方形、矩形、六角形、椭圆形、梯形等。

对一般用空心型材分为上述三个级别, 但没有包括某些专门用途的空心型材。

除了截面复杂性之外, 还要考虑其形状因素。形状因素就是型材截面周长与单位重量之比 (或周长与截面积之比):

$$F_0 = \frac{S}{A_2} = \frac{S}{W} \quad (15.1-1)$$

式中  $F_0$  ——形状因素;

$S$  ——型材截面周长;

$W$  ——型材的单位重量;

$A_2$  ——型材截面积。

综合上述, 如以  $D$  表示型材外接圆直径, 那么  $SD/A_2$  就是一个反映挤压难易程度的指数, 指数值越大, 则型材就越难挤压。

### (3) 挤压系数

挤压筒截面积  $A_1$  与型材截面积  $A_2$  之比,

称挤压系数  $\lambda$ , 即  $\lambda = \frac{A_1}{A_2}$ 。

为使挤压型材具有一定的变形量, 同时又不致于难以挤压, 合理地选择挤压系数是很重要的。一般纯铝的挤压系数可达 300, 6 063 合金可达 200, 硬铝可选在 20~60 之间。有时可用变形率来表示。

$$\epsilon = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{\lambda - 1}{\lambda} \times 100\% \quad (15.1-2)$$

通常认为  $\epsilon$  在 95% 以上是经济合理的。

### (4) 型材壁厚

某一特定型材壁厚最小值取决于型材的外接圆直径的大小、合金成分和形状因素等。

壁厚 ( $t$ ) 与合金的挤压难易程度有关系。如 6 063 合金壁厚取为 1 mm 时, 则 6 061 合金就应取为 1.5 mm 左右, 而 7075 合金则应取为 2.0~2.5 mm 左右。

壁厚选择除与合金有关外, 还与外接圆直径、截面形状等有关。型材的外接圆尺寸或宽度



尺寸越大,设计的厚度也应越大。一般情况下型材的宽厚比( $B/t$ )以小于30为宜。当 $B/t > 50$ 时,就比较难于挤压了;当 $B/t > 100$ 时,属特别难于挤压成形的型材,需要采取一些特殊的技术措施,才能保证产品质量和使挤压过程得以顺利进行。越难挤压的截面,越要求有较大的壁厚、较小的宽厚比和较小的挤压系数。

#### (5) 包围空间面积

在型材的截面形状方面,凡有三方面包围、一面开口的部分都称为空间面积。这个空间从模具方面来看是个悬臂梁,当悬臂梁细而长时,模具破损率就大,甚至很难制造出来,即或能制造出来也很难挤压出型材。表15.1-1为美国的型材截面形状挤压难易程度的分级。由图15.1-2所示,按 $F/D^2$ 或 $(E+F)/D^2$ 公式计算,哪个数值大取哪个,然后与表15.1-1中的数值对

照,比表上数值大的定为半空心型材,小的则定为实心型材。

#### (6) 直角间的圆角半径

外凸直角的过渡半径十分重要,过小会使模具转角处发生应力集中,且易于磨损,因此,应尽量避免尖角。像6063一类挤压性能良好的铝合金,其最小圆角半径可取 $R = 0.4 \text{ mm}$ ,其它铝合金 $R$ 应取 $0.6 \text{ mm}$ 以上。

#### (7) 截面尺寸公差

型材截面尺寸公差通常是根椐产品加工余量、使用条件、挤压难易程度、合金牌号和形状部位来确定的,一般在有关技术标准中或在用户提供的图样中规定。对于某些挤压难度大的型材,可改变形状,增大工艺余量或改变尺寸公差来降低挤压难度,以挤压出接近要求的产品,然后通过整形或加工达到使用形状与尺寸。

表 15.1-1 确定铝型材挤压难易程度标准

开口部分 <sup>①</sup> /mm	1级		2级		3级	
	合金 A	合金 B	合金 A	合金 B	合金 A	合金 B
0.76~1.27	1.0	1.0	1.0	0.75	1.0	0.5
>1.27~1.6	2.0	1.5	1.5	1.0	1.125	0.75
>1.6~3.18	2.5	2.0	2.0	1.5	1.5	1.125
>3.18~6.35	3.0	2.5	2.5	2.0	1.875	1.5
>6.35~12.7	3.5	2.75	3.0	2.5	2.25	1.875
>12.7~25.1	4.0	3.0	3.5	2.5	3.0	2.25
>25.4~38.1	3.5	2.75	3.0	2.0	2.25	1.5
>38.1~63.5	3.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.125
>63.5	2.25	2.0	2.0	1.5	1.5	1.125

注: 1. 合金 A: 1 060、1 100、3 003、5 052、5 154、5 254、6 061、6 062、6 063、6 101、6 251、6 403、7 004、7 104。

2. 合金 B: 2 011、2 014、2 017、2 117、2 024、5 083、5 086、5 454、5 456、6 066、7 001、7 075、7 178、7 079。

①开口部分见图15.1-2的尺寸 $D$ 。

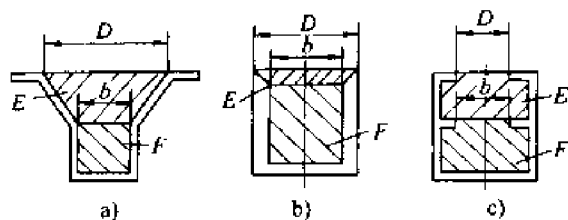


图 15.1-2 半空心型材截面

#### (8) 其他影响因素

铝合金型材的种类很多,在设计时除了要考虑共同的设计要素外,还要考虑各自的特殊设计要素。例如,对有长度要求的型材,必须考虑形位公差,对阶段变截面型材要求大头部分与型材部分的截面比例控制在一定范围内。目前这个比例已达到10左右,此比例越大,挤压难度就越大;又如,对整体带肋壁板型材的宽厚比、立肋的对称性、空心型材对合金成分的选择等也都有严格的要求,在设计型材时必须仔细计算和评



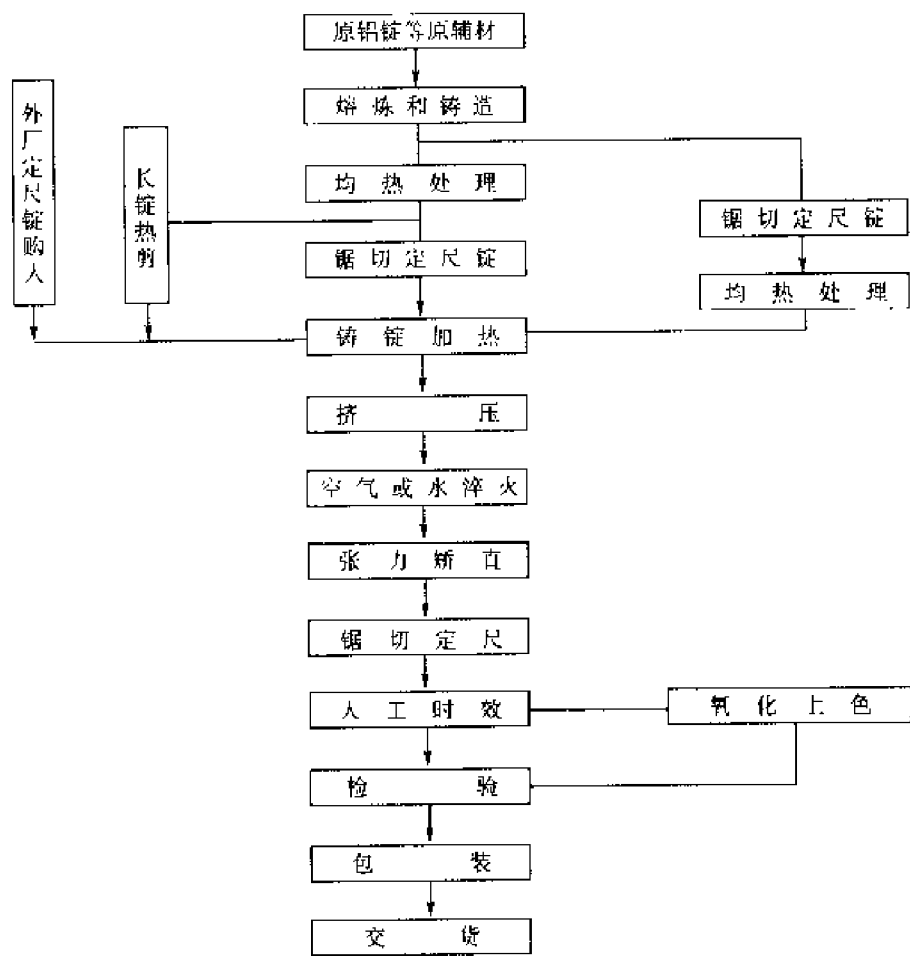


图 15.1-4 建筑用铝合金型材工艺流程

表 15.1-2 挤压型材用铝合金的牌号、化学成分及其品种与用途

牌号系列	合金组别	牌号① (旧牌号)	合金元素含量(质量分数)/%							主成分 Al/ %	合金性能	品种	主要用途
			Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Ti			
1××× (LG,L)	Al (纯铝)	1A99(LG5)	高纯铝							99.99	铝密度小,导电性好,导热性高,对光的反射率高,热中子吸收截面较小,表面光泽美观,在大气中的耐蚀性也较好。铝具有面心立方晶格,无同素异形转变,塑性好,可进行各种形式的压力加工。纯铝不可热处理强化,强度较低	铝可制成不同规格的管、棒、型材、线、板、带和箔材等	高纯铝主要用于科学试验、化学工业及其他特殊用途
		1A97(LG4)								99.97			
		1A93(LG3)								99.93			
		1A90(LG2)	工业纯铝							99.90			工业纯铝主要用来制作电线、电缆、铝箔和日用器皿等
		1A85(LG1)								99.85			
		1070A(L1)	工业纯铝							99.70			
		1060(L2)								99.60			
		1050A(L3)								99.50			
		1035(L4)								99.35			
		1200(L5)								99.00			

续表 15.1-2

牌号系列	合金组别	牌号 <sup>①</sup> (旧牌号)	合金元素含量(质量分数)/%								主成分 Al/ %	合金性能		品种	主要用途	
			Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Ti						
2××× (LY,LD)	Al-Cu	2A01(LY1)			2.2 ~ 3.0		0.20 ~ 0.50				余量	低强度 硬铝	硬铝 合金可 进行热 处理强 化,有 较高的 强度和 耐热性	线材	结构用铆 钉(温度不超 过100℃)	
		2A02(LY2)			2.6 ~ 3.2	0.45 ~ 0.7	2.0 ~ 2.4				余量	耐热 硬铝		型材	200~300 ℃ 涡轮喷气 发动机、轴向 压气机叶片	
		2A04(LY4)			3.2 ~ 3.7	0.45 ~ 0.7	2.1 ~ 2.6	Fe: 0.001~ 0.01		0.05 ~ 0.40	余量					
		2A06(LY6)			3.8 ~ 4.3	0.5 ~ 1.0	1.7 ~ 2.3	Fe: 0.001~ 0.005		0.03 ~ 0.15	余量	高强度 硬铝		线材	125~250 ℃ 工作铆钉 线材	
		2A10(LY10)			3.9 ~ 4.5	0.30 ~ 0.50	0.15 ~ 0.30				余量	低强度 硬铝		线材	强度比 2A01 合金 高,用于温度 不超过100℃ 构件的铆接	
		2A11(LY11)			3.8 ~ 4.8	0.40 ~ 0.8	0.40 ~ 0.8				余量	中等强 度硬铝		型材	中等强度 飞机构件的 铆接  中等强度 飞机构件骨 架、螺旋桨叶 片、交通、造 船、建筑的结 构件	
5××× (LF,LT)	Al-Mg (防锈铝)	5B06(LF6)				0.50 ~ 0.8	5.8 ~ 6.8	Be: 0.000 1 ~0.000 5		0.10 ~ 0.30	余量	该合金属于 热处理不强化 的铝合金,其 密度小,强度 比纯铝高,疲 劳强度和焊接 性能良好,耐 蚀性好	板 材、 棒 材、型 材			
		5A12(LF12)				0.40 ~ 0.8	8.3 ~ 9.6	Sb: 0.004 ~0.05		0.05 ~ 0.15	余量				焊接结构 件,防弹材料	
		5A13(LF13)				0.40 ~ 0.8	9.0 ~ 9.6	Sb: 0.004 ~0.05		0.05 ~ 0.15	余量					
		5A33(LF33)					Be: 0.000 5 ~ 0.005			6.0 ~ 7.5	Zr: 0.10 ~ 0.30			0.50 ~ 1.5	0.05 ~ 0.15	余量
	(特殊铝)	5A41(LT41)				0.30 ~ 0.6	6.0 ~ 7.0			0.02 ~ 0.10	余量					

续表 15.1-2

牌号系列	合金组别	牌号 <sup>①</sup> (旧牌号)	合金元素含量(质量分数)/%								主成分 Al/ %	合金性能	品种	主要用途
			Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Ti				
5××× (LF,LT)	(防锈铝)	5A43(LF43)				0.15 - 0.40	0.6 - 1.4				余量			
		5056 (LF5~1)				0.05 - 0.20	4.5 - 5.6	Cr: 0.05 - 0.20			余量			
	(特殊铝)	5A66(LT66)					1.5 - 2.0				余量			
	(防锈铝)	5083(LF4)				0.40 - 1.0	4.0 - 4.9	Cr: 0.05 ~0.25			余量			
6××× (LD)	Al-MgSi (锻铝)	6A02(LD2)	0.50 ~ 1.2			或 Cr: 0.15 - 0.35	0.45 - 0.9				余量	可进行热处理强化铝合金。具有中等强度、耐腐蚀性高,无应力腐蚀破裂倾向,焊接性能良好,焊区耐蚀性能不变	板 材、棒 材、型 材、模 锻 件	复杂形状的锻件和模锻件,飞机发动机零件
		6B02 (LD2~1)	0.7 ~ 1.1		0.10 ~ 0.40	0.10 ~ 0.30	0.40 - 0.8			0.10 ~ 0.04	余量			
		6061 (LD30)	0.40 ~ 0.8		0.15 ~ 0.40		0.8 - 1.2	Cr: 0.04 ~ 0.35			余量			
		6063(LD31)	0.20 ~ 0.6				0.45 - 0.9				余量			
		6070 (LD2~2)	1.0 ~ 1.7		0.15 ~ 0.40	0.40 - 1.0	0.50 - 1.2				余量			
7××× (LC)	Al-Zn (超硬铝)	7A01(LB1)							0.9 ~ 1.3		余量			

续表 15.1-2

牌号系列	合金组别	牌号 <sup>①</sup> (旧牌号)	合金元素含量(质量分数)/%								主成分 Al/ %	合金性能	品种	主要用途
			Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Ti				
7××× (LC)	Al-Zn (超硬铝)	7A03(LC3)			1.8 ~ 2.4		11.2 ~ 1.6		6.0 ~ 6.7	0.02 ~ 0.08	余量	属可热处理 强化合金,合 金的强度高 于硬铝,称超 硬铝合金。其 屈服强度接近 于抗拉强度,屈 强比高,比强 度也高,但塑 性较低。使用 温度于125℃ 以下或在一定 温度下短时间 工作的承受较 大负荷结构材 料	线材	用于承力 结构的铆钉, 工作温度低 于120℃,可 代替 2A10 (LY10)高强 铆钉合金
		7A04(LC4)			1.4 ~ 2.0	0.20 ~ 0.6	1.8 ~ 2.8	Cr: 0.10 ~ 0.25	5.0 ~ 7.0		余量		板 材、 管 材、棒 材、型材、 锻 件、模 锻件	飞机蒙皮, 螺钉、飞机承 力构件,大梁 桁条,隔框, 翼肋,起落架 等
		7A09(LC9)			1.2 ~ 2.0		2.0 ~ 3.0	Cr: 0.10 ~ 0.25	5.1 ~ 6.1					
		7A10(LC10)			0.50 ~ 1.0	0.20 ~ 0.35	3.0 ~ 4.0	Cr: 0.10 ~ 0.20	3.2 ~ 4.2					
		7003(LC12)					0.50 ~ 1.0		5.0 ~ 6.5	Zr: 0.05 ~ 0.25				
8×××	其他合金	8A06(L6)	工业纯铝											
2××× (LY,LD)	锻铝	2A80(LD8)	0.50 ~ 1.2	1.0 ~ 1.6	1.9 ~ 2.5		1.4 ~ 1.8	0.9 ~ 1.5			余量	该合金在高 温下有高的强 度,具有良好的 工艺性能。 主要用于锻压 在150~250℃ 以下工作的各 种耐热零件	锻 件、 模 锻 件、 型 材、棒 材	压气机叶 片、叶轮、活 塞、胀圈以及 高温工作的 发动机零件
		2A90(LD9)	0.50 ~ 1.0	0.50 ~ 1.0	3.5 ~ 4.5		0.40 ~ 0.8	1.8 ~ 2.3			余量		锻 件、 模 锻 件、 棒 材	航空发动 机活塞
3××× (LF)	Al-Mn (防锈铝)	3A21(LF21)				1.0 ~ 1.6					余量	该合金属于 热处理不强化 合金,塑性高, 焊接性能好, 强度比工业纯 铝高,耐腐蚀 性能和工业纯 铝相近	板 材、 带 材、箔 材、管 材、 棒 材、型 材、线 材 等	主要用于 制造飞机油 箱、油路、导 管、铆钉线 等。在建筑、 食品等工业 中也有广泛 的应用

续表 15.1-2

牌号系列	合金组别	牌号 <sup>①</sup> (旧牌号)	合金元素含量(质量分数)/%								主成分 Al/ %	合金性能	品种	主要用途
			Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Ti				
4××× (LT,LD)	Al-S (特殊铝)	4A01(LT1)	4.5 ~ 6.0								余量			
	(锻铝)	4A11(LD11)	11.5 ~ 13.5		0.50 ~ 1.3		0.8 ~ 1.3	0.50 ~ 1.3			余量			
4××× (LT,LD)	Al-S (特殊铝)	4A13(LT13)	6.8 ~ 8.2								余量			
		4A17(LT17)	11.0 ~ 12.5								余量			
5××× (LF,LT)	Al-Mg (防锈铝)	5A02(LF2)				或 Cr 0.15 ~ 0.40	2.0 ~ 2.8				余量		管 材、 棒 材、型 材、线 材、 板 材	飞机油箱、 导管、焊丝、 铆钉、船舶
		5A03(LF3)	0.50 ~ 0.8			0.30 ~ 0.6	3.2 ~ 3.8				余量		板 材、 型 材、棒 材、管 材、 线 材	中等强度 的焊接结 构,冷冲压 的零件,焊 接容器骨架 零件、焊丝
		5A05(LF5)				0.3 ~ 0.6	4.8 ~ 5.5				余量		型 材、 板 材、模 锻件	焊接结构 件,蒙皮骨 架
		5B05(LF10)				0.2 ~ 0.6	4.7 ~ 5.7				余量			
		5A06(LF6)				0.50 ~ 0.8	5.8 ~ 6.8	Fe: 0.000 1 ~ 0.005		0.02 ~ 0.10	余量	该合金属于 热处理不强化的 铝合金,其密 度小,强度比 纯铝高,疲劳 强度和焊接性 能良好,耐蚀 性好	板 材、 型 材、管 材	焊 接 结 构,冷模锻 零件;焊接 容器受力零 件,蒙皮骨 架零件
2××× (LY,LD)	Al-Cu	2B11(LY3)			3.8 ~ 4.5	0.40 ~ 0.8	0.40 ~ 0.8				余量	硬铝合 金可进行 热处理强 化,有较 高的强度 和耐热性	棒 材	中等强度 飞机要构件 螺栓

续表 15.1 2

牌号系列	合金组别	牌号 <sup>①</sup> (旧牌号)	合金元素含量(质量分数)/%								主成分 Al/ %	合金性能		品种	主要用途
			Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Ti					
2××× (LY, LD)	Al-Cu	2A12(LY12)			3.8 ~ 4.9	0.30 ~ 0.9	1.2 ~ 1.8				余量	高强度硬铝	硬铝合金可进行热处理强化, 有较高的强度和耐热性	板材	飞机蒙皮、建筑、交通、造船用的材料
														型材	飞机隔框、翼肋、翼梁
														线材	铆钉
	(硬铝)	2B12(LY9)			3.8 ~ 4.5	0.30 ~ 0.7	1.2 ~ 1.6				余量		硬合金可进行热处理强化		
		2A13(LY13)			4.0 ~ 5.0	0.30 ~ 0.50					余量		有较高的强度和耐热性		
	锻铝	2A14(LD10)	0.6 ~ 1.2	3.9 ~ 4.8		0.40 ~ 1.0	0.40 ~ 0.8				余量	该合金可热处理强化, 具有中等强度, 耐蚀性高, 无应力腐蚀裂纹倾向, 焊接性能良好, 焊区耐蚀性不变等		板、型材、模锻件	复杂形状的锻件和模锻件
	硬铝	2A16(LY16)			6.0 ~ 7.0	0.40 ~ 0.8				0.10 ~ 0.20	余量	此合金可热处理强化, 在室温下强度低于 2A12、2A70 合金, 但在 225 ~ 250°C 或更高温度下却比上述合金高。合金的工艺性能良好, 易于焊接。主要用于耐热可焊接的结构材料及锻件		棒材、型材、锻件、板材	250 ~ 300°C 工作的零件(圆盘、喷气发动机叶片), 在室温和高温工作的焊接零件(容器、气密座舱)
		2A17(LY17)			6.0 ~ 7.0	0.40 ~ 0.8	0.25 ~ 0.45			0.10 ~ 0.20	余量			锻件	225 ~ 250°C 工作的零件



续表 15.1-2

牌号系列	合金组别	牌号 <sup>①</sup> (旧牌号)	合金元素含量(质量分数)/%								主成分 Al/ %	合金性能	品种	主要用途
			Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Ti				
2××× (LY, LD)	锻铝	2A50(LD5)	0.7 ~ 1.2		1.8 ~ 2.6	0.40 ~ 0.8	0.40 ~ 0.8				余量	可进行热处理强化的铝合金,合金具有中等强度,耐腐蚀性高,无应力腐蚀破裂倾向,焊接性能好,焊接区耐腐蚀性能不变等优点	模锻件	形状复杂、中等强度的模锻件
		2B50(LD6)	0.7 ~ 1.2		1.8 ~ 2.6	0.40 ~ 0.8	0.40 ~ 0.8	Cr: 0.01 ~ 0.20		0.02 ~ 0.10	余量		模锻件	压气机轮、喷气发动机、压气机等导风轮、风扇、叶轮
		2A70(LD7)		0.9 ~ 1.5	1.9 ~ 2.5		1.4 ~ 1.8	0.9 ~ 1.5		0.02 ~ 0.10	余量	该合金在高温下有高的强度,具有良好的工艺性能。主要用于锻压在150~250°C以下工作的各种耐热零件	锻件、模锻件、棒材、板材	航空发动机活塞、导风轮、轮盘等,飞机蒙皮板

注:表中元素的含量为质量分数。

①牌号按 GB/T 3190—1996, 旧牌号按 GB/T 3190—1982。

### 4.3 挤压成形工艺参数

挤压工艺参数主要有挤压系数、挤压温度、挤压速度、模孔数、铸锭尺寸以及模具加热温度、压余(残料)长度等。在挤压工艺参数中,挤压温度、挤压速度、工模具加热温度、压余长度等在生产规程中都有明确规定,所以确定一般挤压制品的工艺参数,实际上主要是确定模孔数、挤压系数、铸锭尺寸。

#### 4.3.1 挤压工艺参数的选择

##### (1) 挤压工艺参数的基本概念

挤压工艺参数主要有金属变形程度(或挤压系数)、填充系数、挤压温度、挤压速度、铸锭长度等,它们与设备能力、挤压方法、合金种类、制品规格等因素有关。

1) 挤压系数 在挤压生产中,通常以挤压系数或变形程度来表示金属变形量的大小。挤压系数 $\lambda$ 是挤压筒截面积与制品截面积之比。

变形率 $\epsilon$ 是材料变形前、后截面积变化的绝对量与材料变形前截面积的百分比。 $\lambda$ 和 $\epsilon$ 的数

学表达式如下:

$$\lambda = \frac{A}{nA_1} \quad (15.1-3)$$

$$\epsilon = \frac{A - nA_1}{A} \times 100\% \quad (15.1-4)$$

式中  $A$ ——挤压筒截面积 ( $\text{mm}^2$ );

$A_1$ ——制品截面积 ( $\text{mm}^2$ );

$n$ ——模孔个数,单孔挤压时  $n=1$ 。

$\lambda$ 与 $\epsilon$ 的关系为

$$\epsilon = \frac{A - nA_1}{A} = 1 - \frac{nA_1}{A} = 1 - \frac{1}{\lambda}$$

$$\text{所以 } \lambda = \frac{1}{1 - \epsilon}$$

根据制品截面形状不同,为计算方便, $\lambda$ 可采用如下导出公式计算。

制品为管材时:

$$\lambda = \frac{A_0}{A_1} = \frac{(D_0 - \delta_0) \delta_0}{(D_1 - \delta_1) \delta_1} \quad (15.1-5)$$

式中  $A_0$ ——空心铸锭截面积 ( $\text{mm}^2$ );

$A_1$ ——管材截面积 ( $\text{mm}^2$ );

$D_0$ ——空心铸锭外径 (mm);

$\delta_0$ ——空心铸锭壁厚 (mm);

$D_1$ ——管材外径 (mm);

$\delta_1$ ——管材壁厚 (mm)。

制品为圆棒材时:

$$\lambda = \frac{A}{nA_1} = \frac{1}{n} \left( \frac{D}{D_1} \right)^2 \quad (15.1-6)$$

式中  $D$ ——挤压筒直径 (mm);

$D_1$ ——圆棒直径 (mm)。

制品为型材时:

$$\lambda = \frac{A}{nA_1} \quad (15.1-7)$$

式中  $A_1$ ——型材截面积 ( $\text{mm}^2$ );

$A$ ——挤压筒截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

2) 填充系数 在挤压生产中, 为保证铸锭在加热后顺利装入挤压筒内, 常把挤压筒截面积与铸锭截面积之比称为填充系数或缴粗系数  $K$ 。

$$K = \frac{A}{A_0} \quad (15.1-8)$$

对实心铸锭

$$K = \left( \frac{D}{D_0} \right)^2 \quad (15.1-9)$$

式中  $K$ ——填充系数;

$D$ ——挤压筒直径 (mm);

$D_0$ ——铸锭直径 (mm);

$A$ ——挤压筒截面积 ( $\text{mm}^2$ );

$A_0$ ——铸锭截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

## (2) 挤压工艺参数的确定

1) 挤压工艺制定的原则 制定挤压工艺时, 首先要考虑在保证产品质量的前提下, 应做到成品率高, 生产效率高, 材料和能源消耗低, 并合理分配设备负载量。

产品质量就是指产品的内部组织、力学性能、外形尺寸、表面缺陷等都满足相应技术条件。

2) 挤压系数的选择 挤压系数的选择与挤压方法、设备能力、产品合金种类、组织性能要求及模孔数等因素有关。

① 挤压方法 目前, 铝及铝合金主要有两种挤压方法, 即正向挤压法及反向挤压法, 而铝型材仅采用正向挤压法生产。

正向挤压时, 由于铸锭相对挤压筒内壁产生相对运动, 因而有摩擦力产生, 这样在选择挤压系数时, 就要注意比反向挤压时稍小一些。因为, 反向挤压铸锭与挤压筒内壁无相对运动, 因而也就无摩擦力产生。实践证明: 反向挤压所需挤压力约比正向挤压小 30% 左右。

② 设备能力 不同规格的设备具有不同直径的挤压筒, 因而比压也各不相同, 如表 15.1-3 所示。

表 15.1-3 不同规格挤压机的挤压筒比压

压力 / MN	50				20			12		7.5	
挤压筒直径 / mm	500	420	360	300	200	170	150	130	115	95	85
最大比压 / MPa	2.54	3.61	4.92	7.07	6.36	8.80	11.30	9.05	11.55	10.60	13.22
铸锭最大长度 / mm	1 100				700			450		350	

在比压较大的挤压筒上挤压型材时, 挤压系数可大些, 相反可小些。若挤压系数选得太大, 常使挤压力超过挤压机能力, 造成闷车或压不动。这不仅降低了生产效率, 甚至损坏工具, 特别是空心型材的截面尺寸也难以保证; 另外, 制品的挤压长度又受到挤压机工作台长度的限制, 这就必须使用短铸锭, 但压余量增大, 又使成品率降低。挤压系数过小, 制品压出长度太短, 切头、切尾比例增大, 同样降低了成品率。所以, 选择合理的挤压系数, 设备是需要考虑的一个重要因素。

③ 产品组织和性能 优质产品在沿长度方

向和整个截面应具有均匀的组织 and 性能。这样, 在挤压生产中金属就要有足够的变形程度, 即有一定大小的挤压系数。一般变形程度不应小于 85%, 即挤压系数应大于 7; 对硬合金型材来说, 挤压系数应在 20~50 为宜; 对软合金可达 100 以上。

若挤压系数选得过小, 铸锭的铸造组织未能完全消除, 因而产品力学性能偏低, 尤其是屈服强度和伸长率更明显偏低。当挤压系数选得太大时, 金属的变形程度就大, 因而使材料的挤压效应受到损失, 制品的抗拉强度和屈服强度就降低。

为使制品的组织 and 性能满足技术标准要求,一般一次挤压制品的挤压系数应大于8;二次挤压用的毛料的挤压系数可不限,只要挤压顺利即可;锻件用毛料的挤压系数应大于5。

④ 合金种类 合金种类不同,变形抗力也不同,这是由合金本身软硬程度所决定的。硬合金的挤压系数要小些,软合金的挤压系数就可大些。

⑤ 模孔数 挤压系数与模孔数成反比,当型材外形尺寸和截面积均较小时,应在小挤压机的挤压筒上挤压,为使挤压系数不至过大,产生挤压闷车,需要采用多孔挤压。但模孔太多,虽然金属流动均匀,而流速却不均匀,调整困难,不仅影响生产效率、降低成品率,而且也降低了模芯强度。与此同时,模孔多,距挤压筒边缘较近,挤出的制品也容易产生气泡和起皮,在低倍组织上易出现成层,影响产品质量。

型材模孔间距和模孔上各角边顶点距挤压筒内壁之间最小距离如表 15.1-4 所示。

型材生产中经常采用 1、2、4 个模孔,个别情况下也采用 6 孔或更多孔。在一般情况下,简单型材如角材宜采用 4 孔,扁宽型材如 T 形、Z 形型材宜采用双孔,对复杂形状、空心或精度较高的型材应采用单孔挤压法。

表 15.1-4 模孔至挤压筒壁的最小间距 (mm)

挤压筒直径	80 - 95	115 ~ 130	150 ~ 200	300 ~ 500
模孔间最小距离	15	20	25	50
模孔至挤压筒壁的最小距离	20	20	25	50

### (3) 合理挤压系数的选择

在挤压生产中,挤压系数选择是否合理,不仅影响产品质量,而且影响产品的成品率,除人为的技术废品外,几何废料的大小直接影响成品率。

几何废料的数学式为

$$N = \frac{K(L_c + L_r/\lambda)}{L_0} \times 100\% \quad (15.1-10)$$

式中  $N$ ——几何废料(%);

$K$ ——填充系数;

$L_c$ ——基本残料长度(mm),随挤压筒直径而变化;

$L_0$ ——铸锭长度(mm);

$L_r$ ——制品切头切尾长度(mm),随制品规格变化而变化;

$\lambda$ ——挤压系数。

从式中可以看出, $L_0$ 和 $\lambda$ 对 $N$ 都有影响,而其中 $L_0$ 影响最大。从成品率方面看, $L_0$ 和 $\lambda$ 愈长, $N$ 愈小,则几何成品率愈高。但 $L_0$ 和 $\lambda$ 又不能无限增加,因为二者都受金属变形程度、设备能力、制品压出长度的限制。其中,铸锭长度对成品率影响较大, $\lambda$ 对制品组织性能影响较大。当制品压出长度 $L_0$ 一定时, $\lambda$ 增加, $L_0$ 就减小,成品率就下降,当挤压设备已选定时,在保证成品率情况下,首先选定 $L_0$ ,再根据已选定的 $L_0$ 计算出合理的挤压系数。

制品的压出长度 $L_0$ 应满足使用要求,一般在短工作台的挤压机上生产硬合金时为7~8m,在连续作业的挤压机上生产软合金时为25~50m。

制品的压出长度和铸锭长度的数学式为

$$L_0 = K \left( \frac{L_c + L_r}{\lambda} \right) \quad (15.1-11)$$

将此式代入上式中得

$$N = \frac{L_c \lambda + L_r}{L_c \lambda + L_0} \quad (15.1-12)$$

从式中看出, $L_0$ 愈长, $N$ 愈小,则几何成品率愈高,所以在制定工艺时,为提高成品率,尽量采用最长铸锭,而后再计算出合理的挤压系数。

合理挤压系数的数学式为

$$\lambda_1 = \frac{L_1}{L_0/K - L_c} \quad (15.1-13)$$

式中  $\lambda_1$ ——合理挤压系数;

$L_1$ ——选定的合理铸锭长度(mm)。

不同挤压机各挤压筒上合理工艺参数范围见表 15.1-5。

### (4) 挤压筒直径的选择

对某一固定产品,当模孔数确定以后,再根据该制品的截面积、合理挤压系数和模孔数预选出挤压筒直径,根据式(15.1-3),挤压筒截面积可按下式求出:

单孔挤压时:  $A = \lambda A_1$

多孔挤压时:  $A = \lambda n A_1$

表 15.1-5 不同公称压力挤压机的合理工艺参数

挤压机			挤压筒				铸锭尺寸			填充 系数 K	残料 长度 /mm	推荐值	
公称压力 /MN	结构形式	介质 压力 /MPa	直径 $D_k$ /mm	长度 /mm	截面积 $A_k$ /cm <sup>2</sup>	比压 /MPa	直径 /mm	长度 /mm	截面积 /cm <sup>2</sup>			制品截 面积 /cm <sup>2</sup>	合理挤 压系数 $\lambda$
7.5	卧式	32	85	555	56.5	1 320	80	320	52.6	1.12	20	1.25~1.90	30~45
			95	555	71.0	1 060	90	320	66.3	1.11	20	1.60~2.30	30~45
12	卧式	32	115	715	104	1 155	110	400	98.2	1.09	25	2.60~4.20	25~40
			130	715	192.5	905	124	400	120.6	1.10	25	4.40~7.00	25~40
16.3	卧式 (油压)	21	140	740	153.8	1 060	134	500	142	1.08	35	5.2~10.0	15~30
			170	740	227	720	162	600	206	1.10	40	7.6~15.2	15~30
			200	740	314	578	192	600	288.2	1.09	40	10.5~21.0	15~30
20	卧式	32	150	815	170	1 132	142	500	158	1.12	14	5.0~9.8	18~35
			170	815	227	880	162	600	206	1.10	40	6.5~12.5	18~35
			200	815	314	636	192	600	288.2	1.09	40	9.0~17.5	18~35
35	卧式	32	220	1 000	380	922	212	700	352	1.08	20		15~40
			280	1 000	606	577	270	700	572	1.06	40~50		15~35
			370	1 000	1 075	326	360	700	1 015	1.06	40~50		15~25
50	卧式	32	300	1 200	707	707	290	900	660	1.07	65	24~64	11~30
			360	1 200	1 018	490	350	900	960	1.06	65	41~93	11~25
			420	1 200	1 385	361	405	900	1 289	1.08	85	69~126	11~20
			500	1 200	1 964	254	482	1 000	1 840	1.08	85	190~260	11~15

根据表 15.1-5 预选出使近似等于 A 的挤压筒截面积  $A_k$  和相应的挤压筒直径  $D_k$ 。然后,按规格化后的挤压筒截面积  $A_k$  或直径  $D_k$ ,再算出该制品的实际挤压系数  $\lambda$ 。

4.3.2 挤压毛料尺寸的选择

(1) 铸锭直径的选择

为使铸锭或二次挤压毛料加热后能顺利装入挤压筒内,铸锭直径与挤压筒内径间应有一定的间隙,此时,铸锭直径可用下式来预选:

$$D_0 = \frac{D_k - C}{1 + \alpha t} \quad (15.1-4)$$

式中  $D_0$  ——铸锭或二次挤压毛料直径 (mm);  
 $D_k$  ——挤压筒直径 (mm);  
 $C$  ——铸锭加热前直径与挤压筒内径的间隙 (mm),在实际生产中  $C$  取值范围为 5~12 mm,  $C$  值随铸锭直径增大而增加;

$t$  ——铸锭加热温度 (°C);  
 $\alpha$  ——金属的线膨胀系数,它随合金种类变化而变化,在挤压温度范围内,一般取值为  $\alpha = 12.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 。

在实际生产中,铸锭直径可按挤压筒直径大小由表 15.1-5 查得。再由挤压筒直径和铸锭直径的截面积计算出生产中填充系数  $K$  的大小。

$$K = \frac{A}{A_D} \quad (15.1-15)$$

式中  $A$  ——挤压筒截面积 (mm<sup>2</sup>);  
 $A_D$  ——铸锭截面积 (mm<sup>2</sup>);  
 $K$  ——填充系数,一般  $K$  的取值范围为 1.06~1.12。

(2) 铸锭长度的选择

1) 定尺、倍尺、不定尺概念 根据用户要求,型材交货时的长度有定尺、倍尺和不定尺三种。为保证型材的压出长度,满足交货长度的要

求, 对铸锭长度需要通过计算来选择。

在工厂里, 对不定尺产品的交货长度一般为 1~6 m, 这样根据已确定的合理挤压系数, 在设备能力允许情况下, 选择最长铸锭, 以提高生产效率和成品率。

对定尺或倍尺产品, 为保证成品率和生产效率, 铸锭长度必须通过计算来选择。

2) 定尺、倍尺产品压出长度 定尺或倍尺型材的压出长度应按下式计算:

$$L_n = L_a + L_b + L_c + L_r + L_d \quad (15.1-16)$$

式中  $L_n$  —— 型材压出长度 (mm);

$L_a$  —— 型材定、倍尺长度 (mm);

$L_b$  —— 型材切头切尾长度 (mm);

$L_c$  —— 型材试样长度 (mm);

$L_r$  —— 型材速差 (调节长度) (mm);

$L_d$  —— 型材必要工艺余量 (mm)。

① 定尺或倍尺长度即交货长度, 其长度极限偏差为  $^{+20}_0$  mm, 其中按倍尺生产的型材, 每个倍尺还要加上 3~5 mm 锯口余量。

② 切头切尾长度, 对不须增大残料挤压的产品, 挤压残料一律按基本残料计算, 切尾长度仍为 300 mm。

由于挤压制品前端变形程度较小, 力学性能偏低, 而制品尾端在挤压末期形成缩尾, 故制品头尾均需切除, 切头切尾长度与产品规格、合金种类有关, 如表 15.1-6 所示。

表 15.1-6 铝合金型材和棒材应切头切尾长度 (mm)

制品名称	型材壁厚 棒材直径	切头长度	切尾长度		制品名称	型材壁厚 棒材直径	切头长度	切尾长度	
			硬合金	软合金				硬合金	软合金
型材	$\leq 4.0$	100	500	500	棒材	40~105	150	700	800
	$> 4 \sim 10$	100	600	600		110~125	220	600	700
	$> 10$	300	800	800		130~150	220	500	600
棒材	$\leq 26$	100	900	1 000		160~220	220	400	500
	27~38	100	800	900		230~300	300	300	400

在实际生产中, 为节约工时和能源, 提高效率, 经常采用增大残料挤出, 即按规定多挤出 300 mm, 供张力矫直夹头用, 其余部分留在残料里切除。

增大后实际残料长度应按下式计算:

$$L_{ex} = L_{ex} + L_{ey} \quad (15.1-17)$$

式中  $L_{ex}$  —— 增大后实际残料长度 (mm);

$L_{ex}$  —— 基本残料长度 (mm), 与挤压筒大小有关;

$L_{ey}$  —— 增大残料长度 (mm),  $L_{ey} = \frac{L_y - 300}{\lambda}$ ;

$L_y$  —— 残料总长;

$\lambda$  —— 挤压系数。

生产中的基本残料长度见表 15.1-7。

表 15.1-7 基本残料长度

水压机规格/MN	50				35			20			12			
挤压筒直径/mm	500	420	360	300	370	280	220	200	170	150	130	115	95	85
增大残料长度/mm	85		65	65	65	60	50	40	40	35	25	25	20	20

注: 50 MN/420 mm 挤压筒反向挤压棒材不采用增大残料挤压, 所以挤压残料一律为 25 mm, 与挤压筒大小及成品规格无关, 切尾长度; 单孔挤压为 500 mm, 两孔及以上的为 400 mm。

③ 试样长度 对要求达到一定力学性能的产品都要切取性能试样和低倍组织试样, 试样长度见表 15.1-8 和表 15.1-9。凡需要淬火处理的产品, 淬火后都要切取高倍组织试样; 低倍、高倍组织试样长度一般为 25~30 mm。

④ 多孔挤压型材速差调节长度的大小, 一般按下述规定: 双孔挤压型材流速差调节长度为 300 mm, 四孔挤压型材为 500 mm, 四孔以上挤压型材为 1 000 mm。

⑤ 有些型材在挤压时容易产生弯头、扩口或

表 15.1-8 铝合金标准圆试样长度 (mm)

棒材直径	型材壁厚	试样长度	棒材直径	型材壁厚	试样长度
6.0~6.5	6.0~8.0	65	12.6~14.5		150
6.6~8.5	8.1~10.0	90	14.6~16.5		165
8.6~10.5	10.1~12.0	90	16.6~22.0		180
10.6~12.5	>12.0	120	>22.0		120

表 15.1-9 铝合金扁平试样长度 (mm)

型材尺寸		试样长度	型材尺寸		试样长度
壁厚	有效宽度		壁厚	有效宽度	
1.0~2.0	26.0~31.9	180	4.1~8.0	≥32	280
2.1~4.0	26.0~31.9	210	8.1~10.0	≥32	340

并口、波浪等缺陷,这部分缺陷又无法矫直,因此,在计算型材压出长度时,必须考虑这部分长度,一般为500~1000mm左右。属于这类型材的有高精度型材、壁厚差较大的型材,宽厚比较大的型材,空心型材,易扩口或并口的型材。

在实际生产中,为计算方便,勿需逐一分析,可将总的定尺余量给出一定范围,经验值是:单孔挤压的型材定尺余量为1000~1500mm,双孔挤压的型材定尺余量为1200~2000mm,四孔及以上的挤压型材定尺余量为2000~2500mm。

3) 铸锭长度的计算 分两种情况。

① 定尺、倍尺型棒材铸锭长度计算 定尺、倍尺制品铸锭长度按下式计算

$$L_k = K \left( \frac{L_{ke} m + L_{kf} K_m + L_{ko}}{\lambda} \right) \quad (15.1-18)$$

式中  $L_k$ ——铸锭长度 (mm);  
 $L_{ke}$ ——定尺长度 (mm);  
 $m$ ——倍尺个数;  
 $L_{kf}$ ——必要的工艺余量 (mm);  
 $\lambda$ ——挤压系数;  
 $K_m$ ——型、棒材正偏差挤压时,对  $\lambda$  影响的面积修正系数;  
 $L_{ko}$ ——增大残料挤压实际应该留的残料长度 (mm);

$K_m$  值是考虑制品正偏差挤压对挤压系数的修正值。 $\lambda$  是按制品名义尺寸计算出来的。所以

正偏差挤压必然引起  $\lambda$  的减小,造成压出制品的短尺,因此必须予以考虑,也就是说在制品压出长度和铸锭计算长度时必须做出适当的修正。

根据型材壁厚偏差,修正系数  $K_m$  可按下式计算:

$$K_m = \frac{A + \Delta A}{A} = 1 + \frac{\Delta A}{A} \approx 1 + \frac{\Delta \delta}{\delta} \quad (15.1-19)$$

式中  $A$ 、 $\delta$ ——按名义尺寸计算的型材截面积 ( $\text{mm}^2$ ) 和型材名义壁厚 (mm);

$\Delta A$ ——壁厚正偏差面积增量 ( $\text{mm}^2$ );

$\Delta \delta$ ——型材壁厚允许最大偏差 (mm)。

在实际生产中,当铸锭计算长度已留出足够余量时,  $K_m$  可不考虑,即  $K_m = 1$ 。但当型材定尺较长,挤压系数很小时,  $K_m$  值按表 15.1-10 选择。

② 不定尺型、棒材用铸锭长度的计算 按下式

$$L_k = K \left( \frac{L_n}{\lambda} + L_{ex} \right) \quad (15.1-20)$$

式中  $L_k$ ——铸锭长度 (mm);  
 $L_n$ ——制品压出长度 (mm);  
 $\lambda$ ——挤压系数;  
 $L_{ex}$ ——增大残料挤压时,实际应留的残料长度 (mm)。

不定尺产品交货长度一般为1~6m,所以计算铸锭长度时可以不考虑  $K_m$  对  $\lambda$  的影响,即  $K_m = 1$ 。

表 15.1-10 面积修正系数  $K_m$

$\delta/\text{mm}$	$\Delta\delta/\text{mm}$	$K_m$	$\delta/\text{mm}$	$\Delta\delta/\text{mm}$	$K_m$
1.0	0.20	1.20	5.0	0.30	1.06
1.5	0.20	1.23	6.0	0.30	1.05
2.0	0.20	1.10	7.0	0.35	1.05
2.5	0.20	1.08	8.0	0.35	1.04
3.0	0.25	1.08	9.0	0.35	1.04
3.5	0.25	1.07	10.0	0.35	1.03
4.0	0.30	1.07			

4.3.3 挤压工艺举例

在大型企业生产中，除定尺、倍尺制品铸锭长度要实际计算外，对不定尺产品，为提高成品率，一般尽量采用较长铸锭，并已规格化，连同其他工艺参数均可在工艺文件中查表得到。表

15.1-11 和表 15.1-12 列出了型、棒材部分工艺参数规格化选定值。

4.3.4 铸锭尺寸偏差及质量要求

1) 挤压型、棒材实心圆铸锭尺寸公差见表 15.1-13。

表 15.1-11 铝合金圆棒材挤压工艺参数举例

棒材直径 /mm	单孔截面积 /cm <sup>2</sup>	孔数/挤压 筒直径 (筒径/mm)	挤压系数 $\lambda$	填充系数 $K$	残料长度/mm (硬合金 /软合金)	压出长度 /mm	铸锭直径×长度 $\phi/\text{mm} \times L/\text{mm}$
5	25.8	8/95	45.1	1.11	36/38	6 800	90×200
6	36.8	10/115	36.7	1.09	39/41	6 100	110×220
7	38.5	8/130	43.1	1.10	39/41	7 000	124×220
8	64.8	8/130	33.0	1.10	43/46	6 700	124×270
9	81.8	6/130	34.7	1.10	42/45	7 300	124×300
10	78.5	6/130	28.1	1.10	47/50	7 100	124×330
		10/170	28.9	1.10	61/64	7 400	162×350
20	31.42	4/170	18.0	1.10	72/79	6 900	162×500
		2/130	21.2	1.10	56/64	7 100	124×450
30	706.5	2/170	16.0	1.10	71/77	7 600	162×600
40	12.56	1/170	18.0	1.10	62/68	8 700	162×600
50	1 962.5	4/360	13.0	1.06	95/102	9 400	350×900
60	282.6	3/360	12.0	1.06	98/106	8 600	350×900
		4/420	12.2	1.08	25 (反)	9 700	405×900
70	3 846.5	2/360	13.2	1.06	95/103	9 500	350×900
		4/420	9.9	1.08	25 (反)	7 900	405×900
80	502.4	2/360	10.0	1.06	105/115	7 100	350×900
		2/420	13.8	1.08	25 (反)	1 090	405×900

续表 15.1-11

棒材直径 /mm	单孔截面积 /cm <sup>2</sup>	孔数/挤压 筒直径 (筒径/mm)	挤压系数 $\lambda$	填充系数 $K$	残料长度/mm (硬合金 /软合金)	压出长度 /mm	铸锭直径×长度 $\phi$ /mm× $L$ /mm
90	6 358.5	2/360	8.0	1.06	115/126	5 600	350×900
		2/420	10.8	1.08	25 (反)	8 600	405×900
100	78 500	1/360	13.0	1.06	95/103	9 400	350×900
		1/420	17.0	1.08	25 (反)	1 300	405×900
120	11 304	1/360	9.0	1.06	98/109	6 700	350×900
		1/420	12.3	1.08	25 (反)	1 100	405×900
150	17 662.5	1/360	5.7	1.06	98/114	4 800	350×900
		1/420	7.8	1.08	25 (反)	7 000	405×1 000
180	25 434.0	1/500	7.7	1.07	98/110	5 500	482×1 000
		1/500	7.7	1.07	25 (反)	7 000	482×1 000
210	34 618.5	1/500	5.6	1.07	103/121	4 100	482×900
		1/500	5.6	1.07	25 (反)	5 100	482×1 000
250	49 062.5	1/500	4.0	1.07	85/85	3 000	482×900
		1/500	4.0	1.07	25 (反)	3 200	482×900
300	70 650.0	1/500	2.78	1.07	85/85	2 500	482×1 000

注：“(反)”表示反向挤压。

表 15.1-12 铝及铝合金普通型材挤压工艺举例

型材类别	型材代号	单孔截面积 /mm <sup>2</sup>	孔数/筒径 (筒径/mm)	挤压系数 $\lambda$	填充系数 $K$	残料长度 /mm	压出长度 /mm	铸锭规格 /mm×mm
角形型材	XL111-1	23.4	6/95	50.4	1.06	24	7 800	90×190
	XL112-1	39.5	4/95	45.0	1.06	24	7 400	80×200
	XL113-20	116.0	4/130	28.6	1.10	32	8 200	124×350
	XL114-102	1 497.3	1/200	21.0	1.08	64	8 300	192×500
	XL115-20	539.0	1/170	41.8	1.10	48	8 200	162×170
	XL116	220.6	2/130	30	1.10	35	7 950	124×330
	XL117-1	147.5	4/130	38.5	1.80	48	7 950	124×280
	XL118	525.4	2/200	29.9	1.08	50	8 200	192×350
	XL121-1	29.0	4/85	49.0	1.12	24	7 100	80×190
	XL122	151.1	4/170	37.5	1.10	45	7 850	162×280
T 字形材	XL211-1	40.5	4/95	43.8	1.06	25	7 700	90×220
	XL212-2	48.5	2/85	58.3	1.12	24	7 600	80×170
	XL213-1	168.5	2/115	30.5	1.09	32	8 200	110×330



续表 15.1-12

型材类别	型材代号	单孔截面积 /mm <sup>2</sup>	孔数/筒径 (筒径/mm)	挤压系数 $\lambda$	填充系数 $K$	残料长度 /mm	压出长度 /mm	铸锭规格 /mm×mm
T 字型材	XL214-1	381.7	1/130	34.6	1.06	34	7 600	124×280
	XL215-4	361.4	2/170	31.5	1.10	50	8 500	162×350
	XL234-2	2 138.4	1/200	14.7	1.08	61	8 000	192×660
	XL237	3 824.0	1/300	18.5	1.07	81	8 000	290×560
槽形型材	XL311-14	133.5	1/85	42.6	1.12	25	7 500	80×220
	XL312-1	74.7	2/95	47.5	1.06	25	7 500	90×200
	XL313-2	296.0	1/115	35.1	1.09	31	7 000	110×270
	XL322-6	378.0	1/130	35.1	1.06	34	7 000	124×270
	XL324-10	295.4	2/170	38.5	1.10	45	7 900	162×280
	XL334-1	2 230.0	1/200	14.0	1.08	75	8 000	192×700
	XL337-1	1 810.0	2/300	19.6	1.07	84	8 200	290×550
Z 字型材	XL411-1	68.8	2/85	41.3	1.07	25	7 600	80×230
	XL421-2	104.8	2/95	33.7	1.06	26	7 800	90×280
	XL431-7	358.0	1/115	29.0	1.09	32	7 500	110×320
	XL431-8	333.0	1/130	39.8	1.06	30	7 500	124×240
	XL441-8	221.4	2/170	51.3	1.10	46	7 900	162×220
	XL454	800.0	1/200	39.2	1.08	40	8 500	192×290
L 字型材	XL511-1	117.8	1/85	48.2	1.07	24	7 500	80×220
	XL521-2	214.0	1/95	33.2	1.06	26	7 600	90×280
	XL531-6	348.0	1/115	29.8	1.09	35	7 600	110×320
	XL541	210.5	2/130	31.4	1.06	32	7 500	124×300
	XL551	747	1/170	30.4	1.10	47	8 000	762×340
	XL552	1 900.0	1/200	16.5	1.08	70	7 800	192×600
建筑型材	DQ485	79.0	2/85	35.4	1.07	25	6 200	80×220
	DQ58	182.0	1/95	38.6	1.06	25	7 000	90×230
	DQ85	262.0	1/115	39.6	1.09	30	15 000	110×450
	DQ816	150.0	1/130	88.4	1.06	25	32 000	124×430
	DQ860	242.0	1/170	94.0	1.10	40	40 000	162×520
	DQ849	240.0	1/200	131	1.08	40	66 000	192×600

2) 铸锭质量 铸锭质量直接影响挤压产品质量、成品率和生产效率,因而对铸锭质量提出如下要求:

① 铸锭的化学成分,应符合国家和企业内部技术标准规定。

② 铸锭的内部组织应无裂纹、夹渣、气孔、疏松、晶粒粗大、氧化膜、化合物、偏析聚集物及光亮晶粒等。

③ 对重要用途、表面质量要求较高的产品,铸锭都要车皮,刀痕深度不大于 0.5 mm,对一

般用途的型、棒材铸锭，可不车皮挤出，但应保证无组织缺陷。

表 15.1-13 铸锭尺寸公差

序号	挤压筒直径/mm	铸锭直径及其 极限偏差/mm	铸锭长度极 限偏差/mm	切斜度 ≤	序号	挤压筒直径/mm	铸锭直径及其 极限偏差/mm	铸锭长度极 限偏差/mm	切斜度 ≤
1	85~130	(80~124)±1	$-\frac{3}{0}$	4°	5	300	290±2	$+\frac{8}{0}$	8°
2	150~170	(142~162)±2	$+\frac{5}{0}$	4°	6	360~420	(350~405)±2	$+\frac{8}{0}$	10°
3	200	195±2	$-\frac{8}{0}$	5°	7	500	482±3	$+\frac{8}{0}$	10°
4	280	270±2	$-\frac{8}{0}$	7°					

4.3.5 挤压温度

挤压温度是挤压生产中重要工艺参数之一，它对产品质量、生产效率、工具寿命、能量消耗等都有很大影响，其范围应根据合金的状态图、塑性图及变形抗力图来确定。它与合金的性质、铸锭状态、挤压方法、变形程度、变形速度、工具加热温度及产品质量等因素有关。

挤压温度范围系指挤压时所允许的最低到最高温度。

(1) 挤压温度的选择

1) 合金的塑性 为充分利用合金的塑性，降低变形抗力，以提高生产效率，在保证高速度

挤压时，制品不产生裂纹，应尽量提高挤压温度。但当金属达到一定温度时将出现热脆性，为防止挤压裂纹，又必须降低挤压速度，因此，应适当选择温度和速度。表 15.1-14 为铝合金铸锭挤压温度范围。

2) 制品的组织与性能须考虑以下四方面。

① 制品的性能 对具有明显挤压效应的铝合金挤压制品，如 6A02、2A05、2A12、2A11、7A04 等合金，要获得高强度，必须采用高温挤压，适宜的温度为 370~450℃，一般随挤压温度的提高，抗拉强度也随之提高。6A02 合金棒材在 300~500℃ 范围内挤压性能变化情况见表 15.1-15。

表 15.1-14 铝合金铸锭挤压温度范围

铝 合 金 牌 号	制品名称	铸锭挤压温度/℃	工具加热温度/℃
1070A~8A06	带材	250~350	200~320
	性能有要求制品	250~450	320~450
1070A~8A06、5A02、3A21	型棒	420~480	400~450
	线毛料	320~450	320~450
5A05、5A06、5A07、5B05、5A12、5A13、5A14、5A01	所有制品	一次挤压	380~450
		二次挤压	340~450
6A02	型棒	320~370	370~450
2A50、2A14	所有制品	370~450	320~450
2A02、2A06、2A16、2A17	所有制品	440~460	400~450
5A03、5A01、2A01、2A04、2B11、2B12、2A14、2A11、2A12、2A13、7A03、7A04、7A09、7A10、7003、4A01、7005	所有制品	一次挤压	320~450
		二次挤压	300~450
1070A、8A06、6A02、2A14、2A11、2A12	舌型模挤压空心型材	400~450	400~450
4A11	所有制品	360~420	320~420
1070A、8A06、3A21	分流模挤压制品	450~530	400~450
5A02、5056		440~480	400~450
6061、6063、6A02	建筑型材	489~530	420~450

表 15.1-15 6A02 力学性能与挤压温度的关系

挤压温度/ $^{\circ}\text{C}$	力学性能			挤压温度/ $^{\circ}\text{C}$	力学性能		
	$\sigma_b/\text{MPa}$	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	$\delta/\%$		$\sigma_b/\text{MPa}$	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	$\delta/\%$
320	320~340	220~260	190~260	420	410~430	340~360	120~140
370	340~370	250~310	160~220	500	410~430	340~360	120~140

自表中看出, 当 6A02 合金棒材在 320~420 $^{\circ}\text{C}$  挤压时, 几乎每升高 10 $^{\circ}\text{C}$ , 制品的抗拉强度  $\sigma_b$  及  $\sigma_{0.2}$  都提高 1 MPa; 当提高到一定温度 (500 $^{\circ}\text{C}$ ) 时, 才几乎不变, 而伸长率开始下降。

挤压温度对 1070A~8A06、5A02、3A21 等合金的影响一般是随着挤压温度的提高, 抗拉强度  $\sigma_b$  下降, 而伸长率  $\delta$  提高。

在实际生产中, 上述合金型材抗拉强度, 一般技术标准中都规定一定的上限值或下限值, 因此, 一般都采用高温挤压。如标准中规定 1035、5A02、3A21 合金棒材的  $\sigma_b$  分别小于或等于 110、230、170 MPa, 因此, 必须采用高温挤压, 适宜温度 420~450 $^{\circ}\text{C}$ 。而对于 1035 带材, 标准中规定  $\sigma_b \leq 70$  MPa, 因此, 必须采用低温挤压, 适宜温度为 250~350 $^{\circ}\text{C}$ 。

对 2A70、2A80、2A90 等挤压效应不明显的合金, 挤压温度对性能影响不十分明显, 它们是靠热处理来强化的。因此, 挤压温度可适当放宽, 适宜温度为 320~450 $^{\circ}\text{C}$ 。

② 制品的组织 挤压温度对制品组织的影响, 明显地表现在对粗晶环深度的影响。因此, 在实际生产中, 要求严格控制粗晶环深度的合金有 6A02、2A50、2A14 等。挤压筒温度和铸锭挤压温度必须配合好, 以增加金属的流动性, 减少粗晶环深度。

在实际生产中, 一般采用高温挤压, 即挤压筒温度在 420 $^{\circ}\text{C}$  以下, 铸锭温度在 480~520 $^{\circ}\text{C}$  之间, 也可以将挤压筒温度控制在 420~450 $^{\circ}\text{C}$ , 铸锭温度控制在 320~370 $^{\circ}\text{C}$  之间挤压, 同样可以减少粗晶环深度。

在挤压 Al-Mg-Si 低合金成分的建筑型材时, 如 6061、6063 等可采用在挤压过程中进行水冷或风冷淬火的工艺方法, 此时需采用高温挤压, 适宜的温度是 490~530 $^{\circ}\text{C}$ 。

③ 制品的表面 对有些铝合金挤压制品, 当挤压温度高时, 由于金属的粘性较大, 容易使

模芯工作带粘金属, 致使挤压制品表面不光滑, 出现麻面、划伤、粗糙等缺陷。因此, 在保证产品组织性能情况下, 不采用过高温度挤压。

④ 最高允许加热温度和挤压温度上限 制定最高允许加热温度的目的是因为有些合金塑性较差, 变形抗力较大, 或因铸锭太长, 压挤系数太大, 设备能力有限, 常出现挤压闷车或压不动现象, 特别是用舌型模挤压空心型材时, 温度低容易损坏模具, 可适当采用最高温度挤压。但应该注意的是, 最高允许加热温度接近合金中低熔点共晶和熔化温度, 一般比过烧温度低 10~15 $^{\circ}\text{C}$ 。

挤压温度的上限制定原则是使铸锭加热到规定温度, 挤压产生温升后, 不超过该合金中低熔点共晶物熔化温度, 铸锭仅仅产生微观上的再结晶, 从而使金属获得较高塑性, 但挤压后不发生再结晶, 使制品保持一定的挤压效应。一般软合金由于变形速度快, 温升为 100~150 $^{\circ}\text{C}$ , 而硬合金由于变形抗力大, 速度慢, 变形热散逸也较多, 温升约为 40~60 $^{\circ}\text{C}$ 。因此, 挤压温度的上限值就是该合金的过烧温度减去挤压温升, 最高允许加热温度就是铸锭过烧温度减去工业上测量误差 10~15 $^{\circ}\text{C}$ 。

表 15.1-16 为常见铝合金过烧温度及最高允许加热温度和挤压温度上限。

#### (2) 挤压筒温度的选择

挤压筒加热温度应该与金属加热温度相适应, 为保证挤压筒的寿命, 最高加热温度不应超过制作挤压筒用钢材的回火温度。

挤压筒温度的选择应考虑以下两方面因素:

1) 对金属流动性的影响 实践证明, 提高挤压筒温度, 有利于金属流动性的提高, 尤其对要求严格控制粗晶环的 6A02、2A50 等合金棒材, 提高挤压筒温度使金属流动性趋于均匀, 缩小了剪切变形区域的范围, 从而减少了制品粗晶环的产生。另一方面, 提高挤压筒温度还可以缩短二

类环状缩尾的分布长度,但可能产生层缺陷。

表 15.1-16 常见铝合金过烧温度、加热温度及挤压温度上限

铝合金牌号	铸锭状态	过烧温度/°C	最高允许加热温度/°C	挤压温度上限/°C
1070A、8A06		659	550	480
5A02	铸锭均匀化	560~575	500	480
	二次毛料	565~585		
3A21	铸锭均匀化	635~645	500	480
	二次毛料	645~655		
2A11	铸锭均匀化	500~510	500	450
	二次毛料	505~515		
2A12	铸锭均匀化	500~502	490	450
	二次毛料	500~510		
2A50	铸锭均匀化	530~545	520	450
	二次毛料	530~560		
2A14	铸锭均匀化	500~510	490	450
	二次毛料	505~515		
2A80	铸锭均匀化	535~550	520	450
	二次毛料	540~560		
7A04	铸锭均匀化	490~500	455	450
	二次毛料	505~515		

2) 对挤压机效率的影响 对挤压系数较大,铸锭较长,合金变形抗力大,挤压速度较慢或换工具较频繁时,提高挤压筒温度有利于减小铸锭温度,可防止闷车,从而提高了挤压机效率。与上述条件相反时,为防止挤压温度影响挤压速度,采用低温挤压筒挤压,却有利于提高挤压机的效率。

在实际生产中,除要求严格控制粗晶环的制品外,通常都采用低温度挤压筒生产,一般挤压筒温度比铸锭加热温度低 30~50°C,但不低于合金的挤压温度下限值。

#### 4.3.6 挤压速度

挤压速度是影响生产效率的重要因素,也影响产品质量,如产品表面和尺寸等。

##### (1) 挤压速度的概念

挤压速度一般有两种提法,一是制品流出速度;一是挤压机主柱塞向前移动的速度。制品流出的速度,是指金属被挤压时,制品从模孔流出的速度。单位为 m/min。主柱塞移动速度,是指

挤压时,挤压机主柱塞向前移动的速度,单位为 mm/s。

在实际生产中,制品流出速度是通过调整挤压机主柱塞向前移动的速度来控制的。二者有如下的关系:

$$v = 0.06v_0$$

式中  $v$  ——制品自模孔流出的速度 (m/min);

$v_0$  ——主柱塞向前移动的速度 (mm/s)。

挤压速度大小的选择与合金种类、铸锭状态和尺寸、制品形状、变形程度(或挤压系数)和变形温度、工具(模具)结构及工艺条件等因素有关。

##### (2) 挤压速度的选择

挤压速度的选择原则,是在保证制品尺寸合格、表面无挤压裂纹、设备能力允许的条件下,为提高生产效率尽量采用高速度挤压。

挤压速度的选择应考虑的主要因素有下列 7 个方面。

1) 金属及合金的性质 在相同条件下,合

金中所含元素量愈低,塑性愈好,则允许挤压速度就愈高;而硬合金所含元素较复杂,含量也高,塑性较差,则允许挤压速度相对较低。

以6 063合金型材挤压时制品流出速度为100%,其他合金制品挤压时流出速度与6 063的比值见表15.1-17。

表 15.1-17 几种合金流出速度比值

铝合金牌号	6063	1070A, 8A06	3A21	5A05	2B50	2A80	2A12	7A04
速度比/%	100	135	120	20	60	80	15	9

2) 挤压温度的影响 金属在挤压时,随着挤压温度的升高,金属流动的不均性会增加。在整个挤压过程中,铸锭在变形区的温度也逐渐升高,且挤压速度愈快,温升愈高。因为摩擦和变形区内能的增加,温升可达100°C左右。当变形区内金属温度超过最高许可的临界变形温度时,金属将进入热脆状态而形成挤压裂纹。因而,当铸锭温度很高时,在挤压过程中,必须逐渐降低挤压速度。

常见合金的临界变形温度范围:6A02为520~530°C;2A12为485~495°C;7A04为470~480°C;2A11为520°C左右。

临界变形温度波动范围很窄。为防止挤压裂纹产生,一般挤压温度范围约低于临界温度50~100°C。

在35 MN水压机上,挤压5A02合金棒材时

的铸锭温度、制品流出速度对棒材温升影响的实测数据见表15.1-18。

变形区内的温升除与挤压速度有关外,还与铸锭的加热温度、挤压筒、模具的预热温度及散热能力有关。为提高挤压速度,在挤压力许可条件下,应适当降低铸锭加热温度或采用水冷模方法来提高工具的散热能力,达到快速挤压的目的。实验表明,水冷模挤压可提高挤压速度30%~50%。

除采用空气循环加热炉加热铸锭外,还采用工频感应炉加热。当采用工频感应炉加热时,为平衡铸锭沿长度方向上存在的20~40°C的轴向温差,可将高温端作为挤压前端,低温端作为挤压尾端,达到均衡变形温升的目的。

近代技术的发展使挤压速度实现了程序控制,发展了等温挤压新工艺。其基本原理是通过

表 15.1-18 挤压速度与棒材表面温升的实测值

挤压筒直径 /mm	棒材直径 /mm	挤压系数 $\lambda$	制品流出速度 /m·min <sup>-1</sup>	铸锭表面温度 /°C	棒材表面温度/°C		棒材表面温升 /°C
					前端	尾端	
280	112	6.75	1.2	408	425	445	20
			6.0	415	440	467	27
			1.1	345	375	415	40
			6.7	345	395	455	60

自动调节挤压速度,使变形区内的温度保持在一个恒定范围内,以实现快速挤压的目的,特别是有的设备还装了微机系统,以达到自动控制挤压速度的目的。

另一先进技术是氮冷挤压。就是在挤压过程中,将贮存罐中的液氮(-196°C)引到挤压模工作带处,一可减少制品与模芯工作带的接触摩擦力;二可冷却挤压模和变形区,带走变形热,同时,模芯出口处被氮气所控制,不仅减少了制品表面的氧化,而且减少了氧化铝的粘结和堆积。所以,氮冷挤压不仅提高了挤压制品的表面质量,而且大大提高了挤压速度。

3) 型材外形尺寸及形状的影响 型材的外形尺寸及几何形状对挤压制品金属流出速度的影响也很明显。一般规律是:制品几何形状简单、对称性好、宽厚比小的制品,挤压速度相对可高一些;制品几何形状复杂、宽厚比大、壁厚悬殊、对称性较差的制品挤压速度相对低一些。

在相同条件下,制品壁厚越薄,制品沿截面变形越均匀,则产生挤压裂纹倾向性越小,因而,挤压速度可快些。

4) 变形程度的影响 制品变形程度(挤压系数)越大,所需挤压力越大,同时金属变形热也越高,因而制品流出速度也越低。相反,变形

程度越小,金属流动越均匀,则挤压速度可越高。

5) 模芯结构的影响 铝合金型材挤压时,一般实心型材采用平面模,空心型材采用舌型模或分流组合模。对变形抗力相同的合金,平模比舌型模或分流组合模阻力小,因而挤压速度就高一些。对相同结构的模芯,模芯工作带越宽,合金与工作带表面摩擦力越大,对制品表面产生的附加拉应力越大,制品表面产生挤压裂纹倾向性越高,因而挤压速度需相应降低。其次从金属与模芯工作带表面摩擦力角度考虑,模芯工作带越硬、越光滑,挤压速度应快些。

近年来,由于用户对铝合金制品表面光洁程度要求越来越高,为此,生产厂家对挤压模具采用辉光离子氮化处理,从而大大提高了挤压速度及制品质量。

6) 铸锭状态的影响 对某些不要求严格控制铸锭粗晶环的铸锭,经过均匀化处理后,铸锭塑性提高了,因而挤压速度也相应提高了。例如,7A04合金铸锭经过452~456°C、24 h均匀化处理后,挤压速度可比不均匀化的提高30%~40%,如表15.1-19所示。挤压速度与挤压温

度的关系见表15.1-20。

表 15.1-19 铸锭均匀化对挤压速度的影响  
(2A12 铝合金)

铸锭加热温度/°C	制品流出速度/m·min <sup>-1</sup>	
	未均匀化处理	均匀化处理
350	1.0~1.05	1.6~1.88
400	0.67~0.85	1.2~1.26
450	0.65~0.7	0.91~1.0

7) 润滑挤压的影响 对模具润滑或对铸锭表面全润滑挤压,都可以提高挤压速度,但由于对制品表面质量的要求和润滑条件的限制,目前还没有被普遍应用。

### (3) 挤压速度对制品质量的影响

挤压速度过快,制品会产生如下缺陷:

1) 挤压裂纹 挤压速度主要反映在制品的流出速度,制品流出速度越快,由于摩擦作用所引起的外层金属附加拉应力也迅速提高,当这种附加拉应力超过金属表面张力时,便产生裂纹。因附加拉应力从产生一积累一达到极大值是周期性的,所以裂纹也会周期性地发生。

表 15.1-20 挤压速度与挤压温度的关系

铝合金牌号	高温挤压		低温挤压	
	铸锭加热温度/°C	流出速度/m·min <sup>-1</sup>	铸锭加热温度/°C	流出速度/m·min <sup>-1</sup>
6A02	480~500	3.0~4.0	260~300	12~15
2A50	380~450	3.0~3.5	280~320	8~12
2A11	380~450	1.5~2.5	280~320	7~9
2A12	380~450	1.0~1.7	330~350	4.5~5
7A04	370~420	1.0~1.5	300~320	3.5~4

2) 挤压麻面 挤压速度越快,金属变形热也迅速增高,特别是在高温下粘性较大的金属,最容易粘结模芯工作带,使挤压制品表面产生麻面。

3) 挤压波浪 在挤压壁厚差较大的型材时,由于挤压速度控制不当,不仅使金属沿整个挤压模截面的流速不均,而且沿铸锭截面金属平衡供给与模孔阻力不相适应时,流速快的一侧就形成波浪,流速慢的一侧可能出现锯齿形拉断。

4) 型材尺寸的变化 对内腔较大的空心型材或宽厚比很大的扁宽型材,若制品前端流出速

度快,空心型材产生扩口,扁宽型材出现前端壁薄现象;若制品前端流出速度慢,则空心型材产生收口,扁宽型材出现前端壁厚现象。

5) 型材缩尾 挤压速度快,金属沿挤压方向不均匀流动倾向性增加,在挤压末期的流出阶段,引起铸锭表面的脏物流入制品内部形成缩尾,为防止此种情况的发生,在挤压末期应控制挤压速度。

### (4) 常用铝合金的挤压温度/速度规程

挤压温度/速度规程见表15.1-21及表15.1-22。

表 15.1-21 常用铝合金挤压温度/速度规程

铝合金牌号	制 品	温 度/℃		平均流出速度 /m·min <sup>-1</sup>
		锭 坯	挤压筒	
2A14	圆棒、方棒及六角棒	380~440	360~440	1~2.5
2A12		380~440	360~440	1~3.5
2A50		380~440	360~400	3~6
2A80、2A70、5A02		320~430	350~400	3~15
7A04		350~430	330~400	1~2
纯铝		390~440	360~430	40~250
3A21		390~440	360~430	25~100
5A05、5A06		400~450	480~440	1~2
6A02、6063、6001		430~510	440~480	3~15、6063 可达 100
2A12	一般用途型材	380~460	360~440	1~2.5
	高负载型材、空心型材	430~460	400~440	0.8~2
	大头型材、壁板	420~470	400~450	0.5~1.2
2A11	一般用途型材	330~460	360~440	1~3
7A04	等截面型材、大头型材 壁板	370~450	360~430	0.8~2
5A02、5A03、5A05		390~440	390~440	0.5~1
5A06、3A21	实心 and 空心型材、壁板	420~480	400~460	0.6~2
6063	装饰型材	320~500	300~480	~120
6063、6A02	空心建筑型材	400~510	380~500	8~60、6063 可达 100
6A02	重要用途型材	490~510	460~480	3~15

表 15.1-22 挤压空心型材的温度/速度规程

纯铝与铝合金牌号	铸锭加热温度/℃	挤压筒温度/℃	金属流出速度/m·min <sup>-1</sup>
纯铝、3A21、6063、6A02	400~530	400~480	0.8~40
5A02、5A06	420~500	400~450	0.7~2.0
2A14、2A11、2A12	400~460	400~450	0.5~2.0

(5) 常用铝合金铸锭最高允许加热温度  
最高允许加热温度见表 15.1-23。

表 15.1-23 铸锭最高允许加热温度

铝合金种类	温度/℃
1070A、1060、1050A、1035、1200、 8A06、3A21、6A02、4A01、6061、 6063	550
5A02、5A03、2A11、2A13、2A16	500
5A05、5A06、5A12、5A13	470
2A50、2A80、2A90	520
2B50、2A70	505
7A03、7A04、7A09、7A10	450
2A02、2A05、2A06、2A12、2A14	490

#### 4.4 挤压型材主要缺陷与处理方法

##### (1) 气泡

气泡是在型材表面出现的凸形泡，一般产生在制品的中部和尾部，软合金产生较多，其原因是：①挤压时挤压筒和挤压垫带有水分和油污，由于水分和油污受热后，挥发为气体，在高温高压的金属变形过程中，进入制品表面，形成气泡；②挤压筒磨损，在磨损部位与铸锭之间的空隙中的空气在挤压时进入金属表面；③铸锭表面铲槽太多过深，在铲槽中有气体，挤压时裹入金属表面；④铸锭组织中固有的疏松气孔等，在挤压时集中于表面形成气泡。

处理方法:表面气泡按技术条件不允许存在。可以打磨清除掉后实测尺寸,不超过制品极限尺寸则按合格交货。

#### (2) 起皮

起皮是在型材表面上产生一种附在制品表面上的薄层,并有脱落现象,多出现在软合金制品上,一般产生在制品前端。其产生原因:①铝合金挤压时,挤压筒内壁粘有的原合金层未清理干净;②挤压筒挤压垫配合不适当,在挤压筒内壁附有残余金属,再继续挤压时易产生起皮;③采用润滑挤压筒挤压时也易产生起皮。

处理办法:按技术条件,制品不允许起皮存在,但允许清除掉,打磨光滑后,实测制品尺寸,不超差则算合格。

#### (3) 裂纹

在挤压时速度过快、温度过高、金属流动不均匀,表面受附加张应力和模孔工作带的阻力,产生附加拉应力引起金属表面破裂,各种硬合金制品均易产生。其原因是:①挤压速度过快,晶粒破碎来不及恢复再结晶,使组织破坏剧烈,易产生裂纹,常产生在制品后端,型材边角部位;②温度过高,金属和合金产生热脆性,使塑性显著降低;③压力跳动时,挤压速度突然变快,使金属流动不均,造成附加应力而产生表面裂纹。

处理办法:裂纹破坏了金属组织连续性,按技术条件不允许存在绝对判断为废品。

#### (4) 金属压入

金属碎屑压入制品的表面称金属压入。其产生原因是坯料内外表面粘有金属屑,或润滑油内含有金属碎屑等脏物。

处理办法:按技术条件不允许存在,但可以清理打磨光滑,尺寸不超差的则算合格。

#### (5) 划伤

在制品的表面有粗糙的纵向或横向的划痕、划沟、小沟等称为划伤,是制品表面常见的缺陷。其产生原因是:①模芯工作带上粘有金属屑;②模芯工作区有凸、凹缺陷;③工具装配不正,导路不平滑;④运输过程吊运不当造成划伤。

处理办法:允许轻微的、不超过制品尺寸偏差的表面划伤。

#### (6) 擦伤

制品遭受机械摩擦使表面破损,并形成条片

状缺陷,称为擦伤,其产生原因是:①工具磨损,挤压针和模孔使用时间过长或粘有金属,易造成表面粗糙擦伤;②抹油不均匀,油和石墨配合比例不当;③制品端头有毛刺,在运输过程中造成表面擦伤。

处理办法:按照技术条件,根据实际情况确定,面积不能太大,修理后打磨光滑,实测尺寸其深度不能超过制品公称尺寸的负偏差,对机械加工制品其深度不超过加工余量。

#### (7) 碰伤

制品表面受到机械损伤,一般称为碰伤,各种制品都易出现。其原因是:①制品吊运不当;②制品堆放不当。

处理办法:有的在制品上产生碰坑,有的带有尖角的碰伤,按技术条件轻微的不超过尺寸负偏差的可交货。

#### (8) 表面粗糙(麻面)

指型材表面连续的片状、点状的擦伤、麻点、金属豆等。其产生原因是:①模芯工作带粗糙或粘有金属;②挤压温度过高;③挤压速度过快。

处理办法:按技术条件,不超过型材表面规定的允许面积;超过允许面积可以修理,打磨光滑,其深度应不超过制品公称尺寸的负偏差。

#### (9) 表面腐蚀

型材表面与外界介质发生化学或电化学作用后引起的表面局部破坏,并有腐蚀产物,称为腐蚀。其产生原因是:①制品在生产过程中接触水、酸、碱、盐等腐蚀介质;②储运过程中湿度大受潮湿等。

处理办法:按照技术条件,各种制品都不允许腐蚀存在。

#### (10) 硝盐痕迹

在制品表面上呈黄色的点状或片状的硝盐残留痕迹,其原因是:硝盐淬火后制品清洗不干净。

处理办法:按技术条件,各种制品都不允许硝盐痕迹存在。

#### (11) 尺寸不符

制品的长、宽、厚及角度等几何尺寸不符合技术条件和图样的要求,其原因是:①模孔和挤压针尺寸超差或换错工具;②多孔模涂油不均造成短尺,或者锯切切错;③挤压及精整等工序量



错尺寸;④金属流动速度不均匀、过快过慢都会造成尺寸和角度的变化;⑤模具设计制造错误。

处理办法:几何形状不符,线性尺寸小为不合格。线性尺寸大,角度、间隙、扩拼口等超差可进行矫直修整,实测尺寸达到合格为止。

#### (12) 波浪

沿制品纵向的局部有连续起伏不平现象,称为波浪。其产生原因是:①模芯制造不正确,工作带设计不合理,金属流动不均;②模芯涂油不均,金属流动速度不一致。

处理办法:技术条件中规定有允许的数值,如GB/T 5237—2000对一般型材和高精度型材在每2 m长度上不应多于一处,其波浪高度分别不得超过1 mm和0.5 mm;薄壁型材每处间隙高度 $<0.25$  mm。小波纹时无影响,不按波浪度处理。

#### (13) 扭拧

制品沿纵轴有扭转称扭拧。其产生原因是:①模芯工作带设计不合理,工作带的摩擦阻力不适当,使金属流速不均;②涂油不均,涂油多的地方金属流动快,涂油少的地方金属流动慢,由于流动速度不一致而造成扭拧。

处理办法:按技术条件规定的要求,根据检查方法测量,超过规定可再次矫直后检查。

#### (14) 弯曲

沿制品纵向呈现不平直现象称为弯曲。沿纵向呈现均匀的弯曲,称为均匀弯曲;在制品某处突然弯曲,称硬弯(一般指200 mm内的弯曲);沿制品宽度方向(侧向)的弯曲,叫刀形弯。其产生原因是:①挤压时没有导路,压出后顶弯;②模芯工作带设计或制作不良,制品流动速度不均;③制品淬火因厚度不均,冷却速度不一造成弯曲。

处理办法:按技术条件允许的纵向均匀弯曲度的要求检查,弯曲度必须在图样和合同中注明,壁厚小于和等于4.0 mm的型材,允许用手轻轻的按压即可消除的均匀弯曲。

#### (15) 平面间隙

指钢直尺叠合在型材某一面上,在钢直尺和该平面之间呈现一定的缝隙。其产生原因是:①挤压时型材壁的两面金属流动不均;②精整矫直配辊不当。

处理办法:按技术条件规定的平面间隙检

查,超过规定者可再次辊矫。

#### (16) 性能不合格

指产品力学性能和工艺性能,没有达到技术条件规定的要求,其产生原因:①热处理时,加热温度偏低,保温时间不够;②违反工艺制度,在挤压和矫直过程中,加工率过大;③化学成分不符,主要化学成分偏低;④仪表不正常,未能按工艺规程控制温度;⑤测量部位和取样位置不正确。

处理办法:性能不合格,按技术条件另取双倍试样(也可在本根上取双倍)。如双倍其中一个试样不合格,则该批产品100%取样试验。合格者交货,不合格者报废。

#### (17) 过烧

制品在加热、均热和淬火过程中,金属组织有溶化现象称为过烧。其产生原因是:①加热炉不正常,通风设备不良,炉子温差大;②定温过高,仪表不灵;③违反加热制度,超过规定上限温度,装炉时制品中夹有木料和油纱布等物也会造成局部过烧现象;④化学成分不符,如含镁量偏高易产生过烧。

处理办法:过烧破坏了金属组织致密性,力学性能降低是致命缺陷,最终成为废品。

#### (18) 成层

制品低倍检查发现在截面边缘部有分层的现象称为成层。其产生原因是:①铸锭表面有尘垢或车皮的铸锭有较大的偏析聚集物和金属瘤;②铸锭表面粘有油污锯屑等脏物,挤压前没清理干净;③挤压筒磨损严重或衬套内有脏物,没及时清理更换;④模孔位置设计不合理,过于靠近挤压筒边缘部位。

处理办法:薄壁型材不允许有成层存在,经机加工的型材,允许深度不大于加工余量。超出标准,按缩尾办法处理。

#### (19) 缩尾

制品经低倍检查,在截面上中间部位出现金属连续被破坏的缺陷称为缩尾。一般软合金缩尾长。其产生原因是:①铸锭表面有灰尘和油污或垫片涂油;②残料过短或制品切尾长度不够;③尾部挤压速度过快,造成铸锭中间部分金属流动过快,外层比较脏的金属流速慢,当尾部金属补充不及时将脏物挤入产品中形成缩尾。

处理办法:制品中不允许存在,因为破坏了

金属连续性。第一次取样有缩尾,将该料切至合格为止,其余制品按此料最大切去长度切尾,全批交货。

#### (20) 粗晶环

制品热处理后,经低倍检查在截面上晶粒大小不一,周边的晶粒特别粗大形成环状组织,叫做粗晶环。其产生原因是:①挤压变形不均匀,外层金属受到模芯壁摩擦,物理变形程度大,使晶粒破碎严重,热处理时,制品表面层晶粒显著长大变粗,2A02、2A50等合金较为严重;②淬火温度过高或保温时间过长;③生长粗晶环的深浅程度与合金化学成分有关。

处理办法:按技术条件规定处理。机加工的型材粗晶环可超过加工余量,但不得大于5mm。不机加工型材粗晶环深 $\leq 3$ mm。同时可在粗晶环区域作力学性能试验,如果性能合格,可交货。

#### (21) 焊缝

用分流模或舌型模挤压空心制品时,一般采用实心铸锭,在挤压时金属先被舌头分开,后在高温高压下再焊合,如焊合不好,即形成焊缝不良。此缺陷多出现在制品前端,其产生原因是:①挤压系数小,挤压温度低,速度快;②挤压坯料或工具不清洁或舌型模上有油污等。

处理办法:这种缺陷不允许存在。第一次试验不合格应另取双倍试样检查,双倍仍不合格则100%取样,合格者交货,不合格者作废。

#### (22) 花边状(羽毛状)组织

制品经低倍检查,在截面上有大晶粒遍布整个截面,似花纹现象。其产生原因是由于铸造过程中生成柱晶的变态,而引起产生花纹或花边状晶。

处理办法:根据制品的使用情况考虑,重要军工产品不宜使用。

#### (23) 铸造缺陷

在挤压制品的低倍组织上,常出现熔铸过程带来的下列各种缺陷:

1) 光亮晶粒 为合金组元偏低的贫乏固溶体一次晶。

处理办法:纯铝、5A02、3A21不作检查。其他合金挤压制品允许有 $< 2$ mm的两点。超出规定按金属间化合物处理。

2) 金属间化合物 为含难熔成分的高熔点

的金属化合物。

处理办法:所有型材允许有 $< 0.3$ mm的金属化合物存在。型带材允许有 $0.3 \sim 0.5$ mm金属间化合物两点。超出规定,该根制品报废,另取双倍数量复验,双倍合格交货,不合格则100%复验或全批报废。

3) 气孔、夹渣、疏松 在制品低倍组织中有微小的显微缩孔或气孔,使结晶组织不致密。有时三者伴随产生,在不同程度上破坏了晶粒致密度。

处理办法:当发现此缺陷该报废,另取双倍数量复验,若仍不合格,则100%复验或全批报废。

4) 氧化膜 是金属合金内部有铝氧化物。

处理办法:允许有 $0.3 \sim 0.5$ mm的氧化物5点( $< 0.3$ mm不计算)。超出标准,按金属化合物办法处理。

5) 化学成分超标 熔炼时配料计算不正确或搅拌不均匀或某些元素过分烧损等所致。

处理办法:全批报废。

## 5 挤压工模具类型与组装形式

挤压工模具一般是指那些直接参与铝锭变形、并在挤压过程中易于损坏而需要经常更换的零部件。为此,对于挤压工模具设计,既要考虑与特定挤压设备类型、规格、结构形式相适应,又要根据产品质量、结构与工艺特点而有其本身的独立性。在同一台挤压设备上,可配备多种不同规格的工模具,以获得多种类型的产品。

### 5.1 挤压工模具类型

按铝型材挤压成型工艺过程分,大致可分为型坯模和型材模两大类。

#### 5.1.1 型坯模

用于铸锭形变、并使之初步成为具有一定几何形状之料坯的工艺装置,称为型坯模,组成型坯模的零部件统为挤压工具。

在每台挤压机上,根据产品的工艺要求,一般都配备有3~5套不同规格的挤压工具。如挤压筒、挤压轴、轴套、轴座、挤压针、挤压垫、模支承、支承环、模架、压型嘴、针支承、针座、堵头等,均属于挤压工具之列。

### 5.1.2 型材模

进一步参与料坯塑性变形,使之成为具有规定的几何形状与尺寸要求的连续型材之工艺装置或零部件,称之为型材模。型材模的特点是品种规格多、结构形式多、工作条件极其恶劣;是需要经常更换,损耗量很大的零部件。

## 5.2 挤压工模具组装形式

一般来说,挤压轴系统组装在活动横梁上,穿孔系统组装在穿孔压杆(柱塞)上,挤压筒支承放在挤压机的主导轨上。模具组件安放在支承前梁导轨的压型嘴上,或安放在前梁前面单工位或多工位的活动模架上。有独立穿孔装置的管型挤压机上,多采用穿孔针—挤压轴—挤压筒系统;而在其他情况下,均采用挤压轴—挤压筒系统的装配结构形式,所不同的仅在于压型嘴或移动模架有区别。

### 5.2.1 棒材组装模具

此种装配结构如图 15.1-5 所示,为在 50 MN 卧式挤压机上棒材正向挤压模的装配结构。利用模具端面的销子,将模子与模垫固定在一起,然后装入模支承中,这样能使模孔与模垫上的型孔非常准确地对中。当使用带压型嘴的挤压机时,将安装了模子和模垫的模支承、以及前环、中环和后环等压入压型嘴中后,并用销键将其固定。导向装置的内腔形状与所导向棒材截面形状相似,而其尺寸却要放大 8~10 mm,以便于产品顺利通过,而不致于产生扭拧和弯曲。此导向装置,通常安装在压型嘴或前梁出口的孔道内,一端紧靠模子的垫环,并用压紧装置将其固定在挤压机的出料槽上。

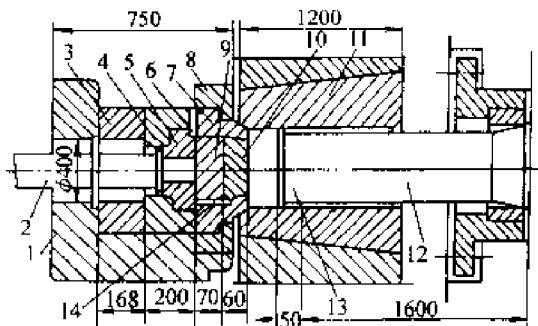


图 15.1-5 棒材正向挤压模具结构

- 1—压型嘴 2—导路 3—后环 4—中环  
5—前环 6—销 7—模支承 8—压紧环  
9—模垫 10—模子 11—挤压筒内套  
12—挤压轴 13—挤压垫 14—键

棒材反向挤压组装模具,如图 15.1-6 所示,具有两根挤压轴:一根为实心轴(或由较短的堵头所代替),从一端封住挤压筒;另一根为空心轴,上面装有模支承和模子,挤压时产品通过空心轴的内孔,从垫环和导向装置中流出。

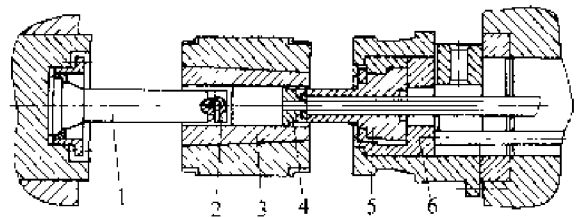


图 15.1-6 棒材反向挤压模具结构

- 1—实心轴 2—挤压垫 3—挤压筒  
4—模子 5—空心轴 6—活动头

### 5.2.2 管材组装模具

在带有独立穿孔装置的卧式挤压机上,管材正向挤压的组装模具结构,如图 15.1-7 所示。穿孔系统紧固在穿孔柱塞上,分多节由螺纹或其他方式联起来,最前端一节称之为针尖或针前端,是决定型材内孔形状和尺寸的模具。将穿孔系统安装在挤压机的中心轴线上,可用于空心挤压轴的往返移动,以实现随动针或固定针挤压。

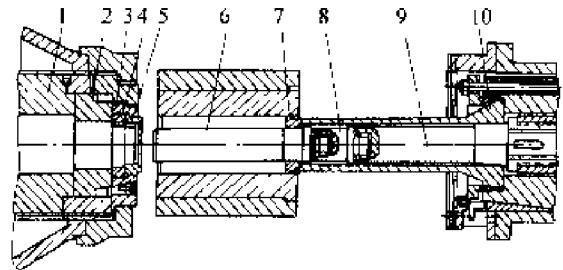


图 15.1-7 管材正向挤压模具结构

- 1—压型嘴 2—垫块 3—模支承 4—模垫  
5—模子 6—穿孔针 7—挤压垫 8—中间针支承  
9—针支承 10—空心轴

管材反向挤压的组装模具结构,如图 15.1-8 所示。采用空心挤压轴和穿孔系统,固定在压型嘴上的模支承中,安放堵垫。将挤压筒前端封闭,在实心挤压轴的前部借助于销子挂上垫片,垫片外径与挤压筒内径相当,而内径与挤压垫外径相当。

### 5.2.3 空心型材组合模具

用平面分流组合模挤压空心型材的组装模具结构,如图 15.1-9 所示,把针尖和模子做成一个整体,或把针尖用模桥固定在模套上。这样,

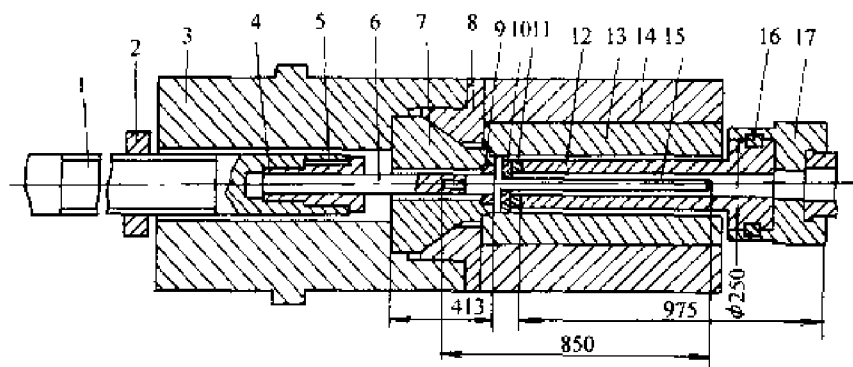


图 15.1-8 管材反向挤压组装模具结构

- 1—穿孔压杆 2—背帽 3—主动梁 4—支承座 5—调节螺母 6—针支承 7—堵头 8—压环  
9—垫片 10—模子 11—模支承 12—挤压轴 13—筒内套  
14—挤压筒 15—穿孔针 16—键 17—压型嘴

就不须独立的穿孔系统，在普通棒材挤压机上，用实心挤压轴（或实心铸锭），即可挤压管材或空心型材。图 15.1-10 为舌型空心型材的组装模具结构。

#### 5.2.4 变截面型材组装模具

可采用多种方法来构成阶段变截面型材或管

材的组装模具结构。采用更换模子法，以获得挤压变截面管材的组装模具，如图 15.1-11 所示。此种模具结构与普通型材挤压模基本相同，主要区别在于模具的固定和装卸，需要采用一套专用装置。采用双工位锁键法，以实现挤压变截面型材的模具结构，如图 15.1-12 所示。

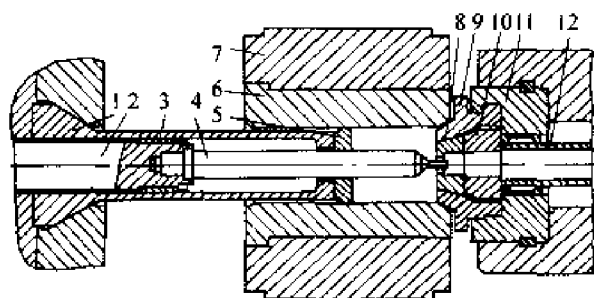


图 15.1-9 平面分流空心型材组装模具结构

- 1—挤压轴 2—挤压针支承 3—导向轴套 4—挤压针 5—挤压垫 6—挤压筒工作内套  
7—挤压筒 8—模子 9—模支承 10—模垫 11—支承环 12—导路

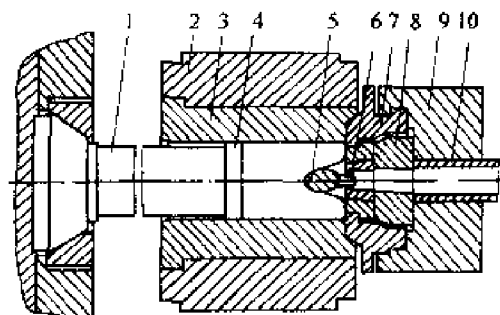


图 15.1-10 舌型空心型材组装模具结构

- 1—挤压轴 2—筒外套 3—筒内套 4—挤压垫 5—芯模 6—模子 7—模支承  
8—模垫 9—压型嘴 10—导路

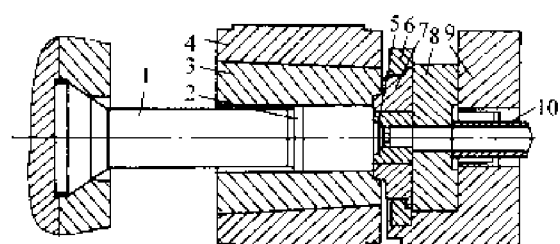


图 15.1-11 更换模子法变截面管材组装模具  
1—挤压轴 2—挤压垫 3—工作内套 4—挤压筒  
5—模子 6—压紧环 7—模支承 8—垫环  
9—压型嘴 10—导向装置

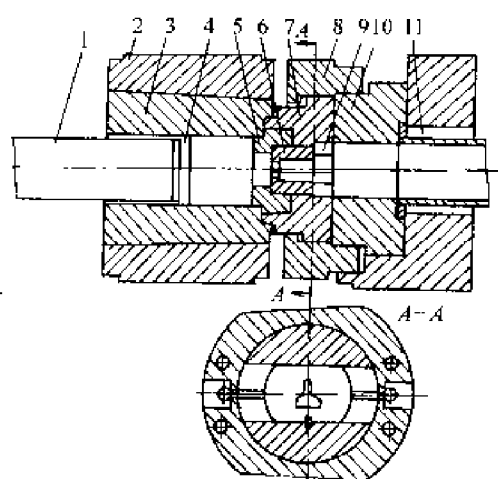


图 15.1-12 锁键法变截面型材组装模具  
1—挤压轴 2—挤压筒 3—工作内套 4—挤压垫  
5—大头模 6—型材模 7—模支承 8—压环  
9—锁键 10—垫圈 11—导向装置

## 第2章 挤压工具设计

### 1 挤压筒设计

挤压筒是最重要的挤压工具之一,在挤压时,依靠挤压筒盛容高温铸锭。从铸锭镦粗开始直至挤压终了,挤压筒需要承受高温、高摩擦的作用,工作条件是十分恶劣的。

装在挤压筒中的铸锭金属,当受到挤压垫片的挤压力时,要产生塑性流动。根据帕斯卡原理,挤压筒壁要受高的静水压力的作用。当金属处于镦粗填充阶段时,金属尚未流出模孔,此时,挤压筒所受的静压力等于挤压垫片施加的单位挤压力( $p_i$ );当产品流出模子时,挤压筒壁上受的静水压力开始下降,据有关资料介绍,其值可为 $0.8p_i$ 左右。由于挤压筒的工作条件恶劣,受力状态严峻而复杂,所以,一般要用高级合金钢来制造。

#### 1.1 挤压筒的结构形式

为了提高挤压筒寿命,除了选择优质材料外,选择合适的结构是十分重要的。

##### 1.1.1 多层过盈热配合组装结构

由于单层挤压筒在工作时需要承受很高的拉应力,即使采用很高级的材料,挤压筒的壁也要做得很厚,这不仅给材料的锻制、加工和热处理带来了困难,而且其使用寿命很低,因此,除了极个别的情况外,已不再采用这种结构。

目前,绝大多数挤压筒是由两层以上的衬套过盈配合用热装组合构成的,即先按设计好的过盈分别加工和处理好各层衬套,将第二层套加热到一定的温度使之膨胀,然后将内衬套(第一层衬套)“红”装入第二层衬套中,冷却后,第二层套就对第一层套产生了足够大的预紧压应力,把第一层套紧紧箍住,使之成为一个“整体”。同样,将第三层套加热到一定的温度,把第一、二层套组成的“整体”装入其中,又组成了第一、二、三层套的“整体”,依次类推,就形成了多层组合式挤压筒。

采用多层套组合式结构挤压筒可以改善挤压

筒的受力条件,使筒壁中的应力分布均匀和降低应力峰值,增加承载能力,提高其使用寿命。同时,在磨损或变形后只需要更换内衬套,可减少材料消耗,节省加工工作量和降低成本。此外,由于每层套的厚度和重量减少,便于材料的熔炼、锻造、热加工和热处理,而且使材料的选择具有更大的灵活性和合理性。如对某些大型挤压筒来说,内衬套可选用高级合金钢材(如3Cr2W8V),中间几层衬套可采用中级合金钢材(如5CrNiMo),而外层可选用一般钢材(如45钢等)。

挤压筒衬套的层数应根据其工作内套的最大单位压力(即 $P_{比}$ )来确定,在工作温度的条件下,当最大应力不超过挤压筒材料屈服强度的40%~50%时,挤压筒一般由两层衬套(即内衬套和外衬套)组成,当应力大于材料屈服强度的70%时(如高比压的小型圆挤压筒和扁挤压筒等),应由四层衬套组装而成。随着层数的增多,各层的厚度变薄。由于各层套间的预紧压应力的作用,使应力分布越均匀,拉应力值下降,受力状态更趋合理,不仅降低了对材料的要求,而且可大大提高其寿命。因此,目前出现了钢带缠绕式挤压筒,这种挤压筒的层数可以很多,使受力条件趋向于理想状态。但是,由于缠绕技术和这种新结构的挤压筒在使用上尚存在一系列的问题,故未得到广泛的采用。

##### 1.1.2 挤压筒工作内套的结构

其结构可按三个基本特征进行分类:

1) 按外表面结构可分为圆柱形、圆锥形和台肩圆柱形,如图15.2-1所示。

2) 按整体性可分为整体内套和组合内套;在组合内套中又分为圆柱形组合、锥形组合、花瓣组合三种,详见图15.2-2。

3) 按内腔形状分为圆形、扁形和其他形状,如图15.2-3所示。

在中小型挤压机上主要采用圆柱形内套,20MN以上的挤压机采用圆锥形内套,最近几年来,大型挤压机上也普遍采用圆柱形内套。圆柱

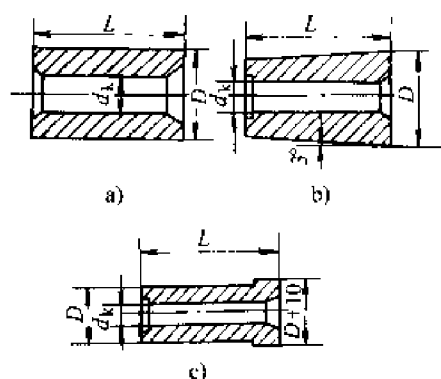


图 15.2-1 工作内套的外表面形状  
a) 圆柱形 b) 圆锥形 c) 台肩圆柱形

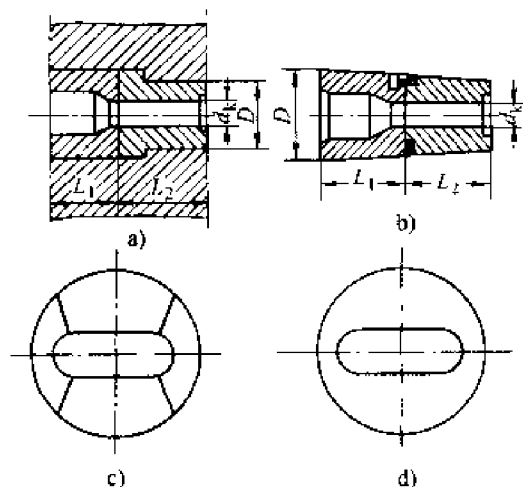


图 15.2-2 工作内套按整体性分类示意图  
a) 圆柱形组合式 b) 锥形组合式  
c) 分瓣组合式 d) 整体式

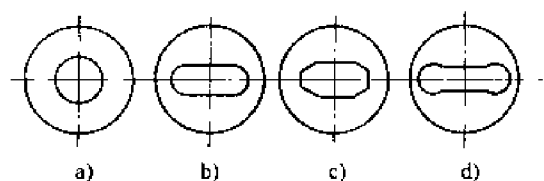


图 15.2-3 挤压筒的内孔形状

a) 圆形 b) 扁形 c) 多边形 d) 哑铃形

形内套易于加工和测量尺寸；更换衬套时尺寸配合问题较少；工作部分磨损后可以调头使用，有利于提高使用寿命。但更换或损坏时退套较困难。当过盈量选择不当，配合面磨损以及挤压筒加热温度过高或内外温差大等情况下，在推出压余或从挤压筒中推出挤压不动的铸锭以及模座靠近挤压筒时，可能将内衬套顶出挤压筒。圆锥形内套（锥度一般为  $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ）便于更换，损坏时易于从挤压筒中退出，甚至在有的挤压机上可直接

装上或卸下内套，而不需要将外套从挤压筒支架内取出，这可大大节省停工时间、提高生产效率，但锥面不易加工，对较长的内衬套外锥面的平直度不易保证，锥面各断面的尺寸也不易检测。为了使锥形内套能很好地与中套或外套配合，可将内套做得长一些，待组装好后，再将多余的长度加工掉。在多层挤压筒中，一般将工作内套的外表面做成  $30'$  到  $1'$  的角度，以保证工作部分获得更大的过盈。台肩圆柱形内套基本上与圆柱形内套相同，只是在热装时可不必先找准热装位置，依靠台肩自动找正比较方便，同时，台肩可防止内套从挤压筒中脱出。

挤压筒的工作内孔一般为圆形，挤压筒的设计、制造都比较容易，可生产的产品品种和规格范围也比较广泛，因此，用得最为普遍。但对于挤压宽厚比大的扁宽薄壁型材和带肋壁板来说，扁挤压筒具有更大的优越性。例如，扁挤压筒与壁板型材具有较大的几何相似性，使金属流动更趋均匀；可以增大挤压筒的比压；降低挤压力；用较小的压力挤压较大挤压系数的型材；产品组织性能较均匀；成品率比较高。因此，在现代化的大型挤压机上均配备有一套到两套扁挤压筒，此外，为了满足某些特殊要求，挤压筒内孔还可设计成其他的形状。

挤压筒的工作内套绝大多数做成整体，这是因为整体结构易于加工、装卸简便。但是，当采用阶段或高应力挤压筒时，如果只利用内套的部分工作长度，可将内套做成组合式的，即把内套分成工作段和套管段，分别加工后组装在一起；当大型挤压筒的材料在熔铸、锻造、加工或热处理有困难时，亦可采用分段组装的结构，如我国某厂 125MN 挤压机的  $850 \text{ mm} \times 320 \text{ mm} \times 2\,000 \text{ mm}$  扁挤压筒内套原为 5CrNiMo 钢制成的整体内套，重十余吨，需要二十几吨的钢坯，试用后仅挤压 25 次就开裂报废。经研究分析，认为主要原因是强度不够，需要改用 3Cr2W8V 钢材，但熔铸、锻制和热处理这样大型的 3Cr2W8V 钢坯目前尚有困难，于是将内套设计成三段结构，每段长度分别为 700、600、700 mm。这样每段重量降为 7 t 左右，使加工成为可能，而且，三段加工后组装起来，也能满足生产的需要。另外一种组合结构是将扁挤压筒沿纵向分成四瓣，分别加工后组装起来。分瓣的目的主要是改善挤压筒

的受力状态。此外,分瓣加工的精度更高,硬度更均匀,表面粗糙度更小。

### 1.1.3 挤压筒各层衬套的结构

挤压筒各层衬套之间的配合如图 15.2-4 所示,可以是圆柱形的(图 a),也可以带有锥度(图 c),也可以是一个配合对带有一定的锥度,而另一配合对呈柱面配合(图 b)。各种配合都有一定的优缺点,应视具体情况来选用不同的配合方式。一般中套或外套上钻有若干加热孔,而在它们的端面开有加热装置用的接线板。此外,在外套的前后、上下、左右均开有一定尺寸的键槽孔和螺栓孔,以便将挤压筒安装在挤压筒支架上。为了测量与控制挤压筒中的温度,在各层衬套上都开有安装测温热电偶的孔腔。

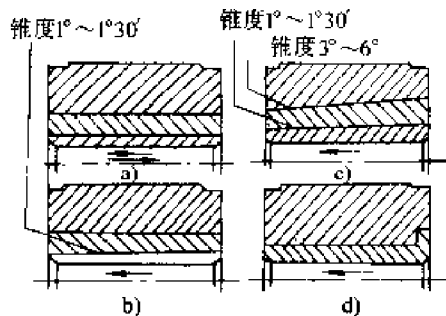


图 15.2-4 挤压筒中各层衬套的配合结构  
(箭头表示挤压方向)

- a) 圆柱面配合 b) 圆锥面配合  
c) 圆锥面配合 d) 带台阶的圆柱面配合

### 1.1.4 挤压筒与模具的配合结构

挤压筒的工作内套与模具之间的配合结构应根据被挤压合金的种类、产品品种、工模具结构、挤压机结构、挤压方法和挤压筒与模座之间的压紧力的大小等因素来设计。对于带有独立穿孔系统的卧式管棒挤压机来说,合理地选择配合结构是十分重要的,因为它必须保证模子在模座靠近挤压筒工作内套后,能准确地位于挤压机中心线上,防止管材产生过大的偏心。在卧式挤压机上一般采用两种配合方式(图 15.2-5)。第一种为平面密封结构,即挤压筒端面与模子端面之间以平面接触方式密封。这种配合方式的优点是:加工容易,操作方便,由于接触面积大,模具和内套端面所受的单位压力都比较小,故不易压碎和变形。缺点是密封性能较差,如果靠紧力不够或接触而不平,变形金属容易从接触面钻出而形成“大帽”。第二种配合方式是锥面密封结

构,即模子与挤压筒之间依靠锥面或双锥面配合、密封。这种配合方式的主要优点是密封性强,金属不易溢出而形成“大帽”;易于对准中心,有自动调心作用,可保证管材的壁厚均匀。主要缺点是接触面积较小,工作内套常因高的面压或应力集中而产生局部压塌。

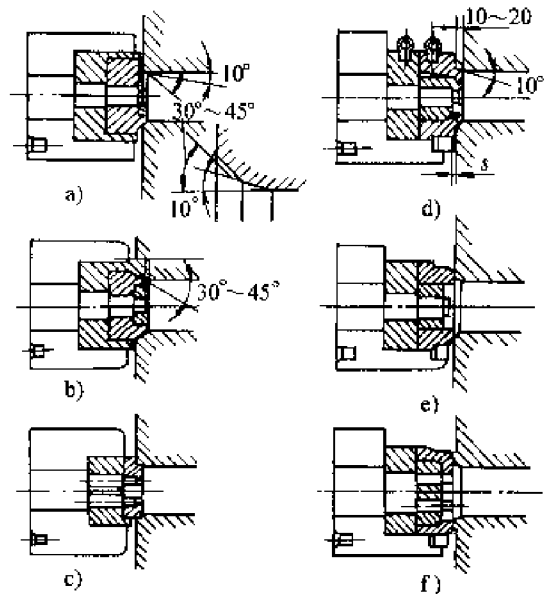


图 15.2-5 挤压筒与模具之间的配合结构

- a) 双锥面配合 b) 单锥面配合 c) 锥模密封  
d) 锥面密封 e) 挤管材时的平面密封  
f) 挤棒材时的平面密封

带斜面锁键的挤压机上一般采用双锥结构;带平锁键的挤压机上一般采用锥面密封结构;管材挤压机上一般用锥形结构;而型棒挤压机上一般采用平面密封结构。用锥形模、舌形模挤压管材和空心制品时一般用锥面密封或锥模密封结构而用平面模、平面组合模挤压棒材、型材和壁板时,一般用平面密封结构。采用平面密封口配合时,应保证挤压筒与模座接触而上的单位压紧力比作用在挤压垫片上的单位压力大 10% 左右。

## 1.2 挤压筒尺寸的确定

### 1.2.1 工作内孔断面尺寸的确定

挤压筒工作内套的内孔直径  $D_i$  主要根据挤压机能力及其前梁结构,挤压制品的允许挤压系数  $\lambda$  的范围,以及被挤压合金变形所需的单位压力  $p_i$  等确定。 $D_i$  的最大值应保证作用在挤压垫片上的单位挤压力  $p_i$  不低于被挤压材料的变形抗力。对一定能力的挤压机来说,  $D_i$  越大,则  $p_i$  就越小,因而挤压系数大,挤压形状复杂



的高强耐热合金制品就越困难。

在挤压铝镁合金时,一般要求  $p_1$  不低于 250~450 MPa,而挤压复杂的薄壁型材、薄壁管材和宽厚比大于 50 的壁板型材时,要求  $p_1$  大于 450~750 MPa,用舌型模或平面组合模挤压形状极复杂的空心型材时,则要求  $P_1$  高达 700~1 000 MPa。另外,挤压筒的最大内孔直径还受到挤压机前梁空间的限制,如果前梁开口空间较小,则挤压筒的外径就不能过大,因而  $D_1$  就会受到限制,否则会影响挤压筒本身的强度。挤压筒的最小直径应保证工具的强度,特别是挤压轴的强度。在一般情况下,也有高达 1 400~1 500 MPa 的情况。此外,  $D_1$  过小,  $p_1$  过大,对挤压

筒内套本身和挤压垫片、模子等工具的使用寿命等也有影响。 $D_1$  的最小值还与挤压机的能力有关,对于小型挤压机来说,由于其挤压筒的工作内套和挤压轴等工具的尺寸小,可选用 3Cr2W8V 等高级材料,故允许承受较高的  $p_1$ 。

在考虑上述情况下,再根据生产的产品品种、规格等来确定挤压筒工作内套的内孔直径。一台挤压机上一般配备 3~4 种规格的圆挤压筒,万能性较强的大型卧式挤压机上可配置 6~7 种规格的圆挤压筒,而专业性强的中小型建筑型材用卧式挤压机上,有时只配备 1~2 种规格的圆挤压筒。表 15.2-1 列出了常用圆挤压筒的规格。

表 15.2-1 各种挤压机上配备的圆挤压筒规格

挤压机吨位 /MN	挤压筒内 孔直径 /mm	挤压筒内 孔长度 /mm	比压 /MPa	挤压机吨位 /MN	挤压筒内 孔直径 /mm	挤压筒内 孔长度/mm	比压 /MPa
3.5	64~100	340	1 088~446	25	200~300	650	796~354
4	85~100	340	1 199~509	31.5	200~355	1 000	1 008~318
5	60~125	500	1 769~407.7	35	200~420	1 000	1 150~253
6	85~135	500	1 798~419	50	300~500	1 250	708~255
6.3	85~135	450	1 888~1 698	60	300~550	1 500	849~253
7.5	85~115	560	2 248~1 325	72	350~600	1 500	749~217
8	90~160	700	1 258~398	80	300~650	1 600	1 132~245
12	125~185	750	978~447	90	400~600	1 700	717~318
12.5	125~200	800	1 019~398	96	400~650	1 800	764~289
15	150~250	815	849~306	120	500~800	2 000	611~239
16	155~205	815	848~48.5	125	420~800	2 000	903~249
16.3	140~200	750	1 059~519	200	650~1 200	2 100	603~176
20	150~225	815	1 132~453				

### 1.2.2 扁挤压筒内孔尺寸的确定

扁挤压筒的工作内套具有小边为圆弧面的矩形内腔。以  $A$  表示扁挤压筒的长轴尺寸,  $B$  表示其短轴尺寸,则  $A/B$  一般可在 2~3 的范围内变化。扁挤压筒内孔尺寸与产品宽度、挤压系数、被挤压合金的性能、挤压机前梁出口尺寸等因素有关。内孔之长轴尺寸与挤压筒外径之比值最好为 0.4~0.45,当超过此比值时,扁挤压筒的强度就很难保证。另外,  $A$  增大,相应地要求增大前梁出口尺寸,在特殊的情况下,可设计制造宽

前梁开口的挤压机。扁筒内孔短轴尺寸决定于挤压强度最高、宽度最宽、宽厚比大的薄壁壁板型材所需的单位挤压力  $p_1$ 。当  $\lambda = 15 \sim 50$  时,扁挤压垫片上的单位挤压力  $p_1$  不应小于 450~600 MPa,在某些情况下,要求为 600~1 200 MPa。但是  $B$  也不能太小,否则,扁挤压轴的强度和稳定性得不到保证,扁挤压筒本身的强度也会受到影响。一般情况下,扁筒的单位挤压力  $p_1$  设计在 450~800 MPa 之间。目前,大多数重型挤压机上都配置有 1~2 种规格的扁挤压筒的规格(见表 15.2-2)。

表 15.2-2 各种挤压机扁挤压筒的规格

挤压机能力 /MN	扁挤压筒规格 /mm×mm	扁挤压筒长度 /mm	比压 /MPa	挤压机能力 /MN	扁挤压筒规格 /mm×mm	扁挤压筒长度 /mm	比压 /MPa
20	230×90	820	1 150	120	900 ×240 850	2 000	590
20	355×100	760	603				626
50	575×200	1 250	525	120	815×350 850×320	2 000	450
50	150	1 250	619				450
	570×170		551	125	850× 250 320	2 000	630
	190		531				500
50	550×155	1 250	574	120	1 200×230 1 200×450	2 000	450
72	675×230	1 200	738				403
80	670 ×250 700	1 300	559	200	1 100×300 2 000×250	2 100	630
			533				450
80	815×200	1 300	500	93	850×240	1 500	485
80	900×240	1 300	450	96	760×240	1 500	589

1.2.3 挤压筒长度  $L_t$  的确定

挤压筒长度  $L_t$  与  $D_t$  大小、被挤压合金的性能、挤压力的大小、挤压机的结构、挤压轴的强度等因素有关。挤压筒越长，可以采用较长的铸锭，因而可提高生产率和成品率，但同时也增大了挤压力，而且由于挤压轴的细长比增大削弱了挤压工具的强度。特别是对于高比压的小挤压筒和扁挤压筒来说，如果  $L_t$  过大，会降低挤压轴的稳定性，即使在正常挤压情况下，挤压轴也容易变弯。

在一般情况下， $L_t$  可用以下公式确定：

$$L_t = (L_{max} + l) + t + s$$

式中  $L_{max}$ ——铸锭的最大长度 (mm)，对型棒材 (实心铸锭) 为  $(3 \sim 4) D_t$ ，对管材 (空心锭) 来说取  $(2 \sim 3) D_t$ ，对铝镁合金最大可取  $(4 \sim 6) D_t$  (但生产管材时不能大于  $3D_t$ )，对于扁挤压筒  $L_{max}$  一般为  $(3 \sim 5) B$  ( $B$  为扁筒的短轴尺寸)；  
 $l$ ——铸锭穿孔时金属向后倒流所增加的长度 (mm)；  
 $t$ ——模子进入挤压筒的深度 (mm)；  
 $s$ ——挤压垫片的厚度 (mm)，一般取  $(0.4 \sim 0.6) D_t$ ，小挤压机取上限，大挤压机取下限。

在实际生产中，挤压筒长度与直径之比  $L_t/D_t$ ，一般不超过  $3 \sim 4$ 。

1.3 挤压筒衬套厚度的确定

挤压筒衬套的层数，各层的厚度及其比值，对挤压筒的装配应力、挤压应力和等效应力均有很大的影响，图 15.2-6 和图 15.2-7 分别示出了 4 层结构、衬套厚度比值不同的圆挤压筒和扁挤压筒中的应力分布图。由图可知，层数越多，各层厚度比值越合理，则应力值就越低。

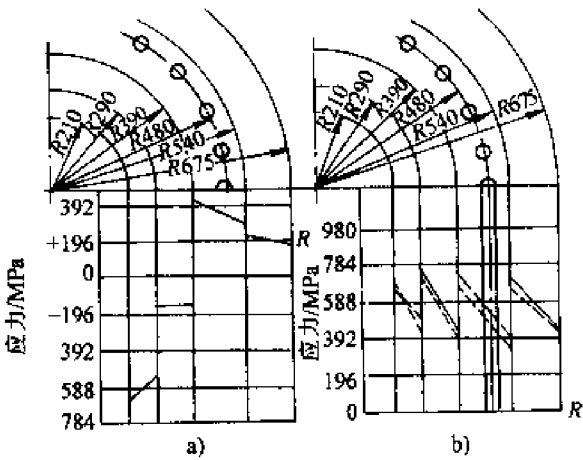


图 15.2-6 圆挤压筒中的应力分布  
a) 冷的非工作状态 b) 考虑了温度差的热工作状态  
--- 最小温度差 ——— 最大温度差

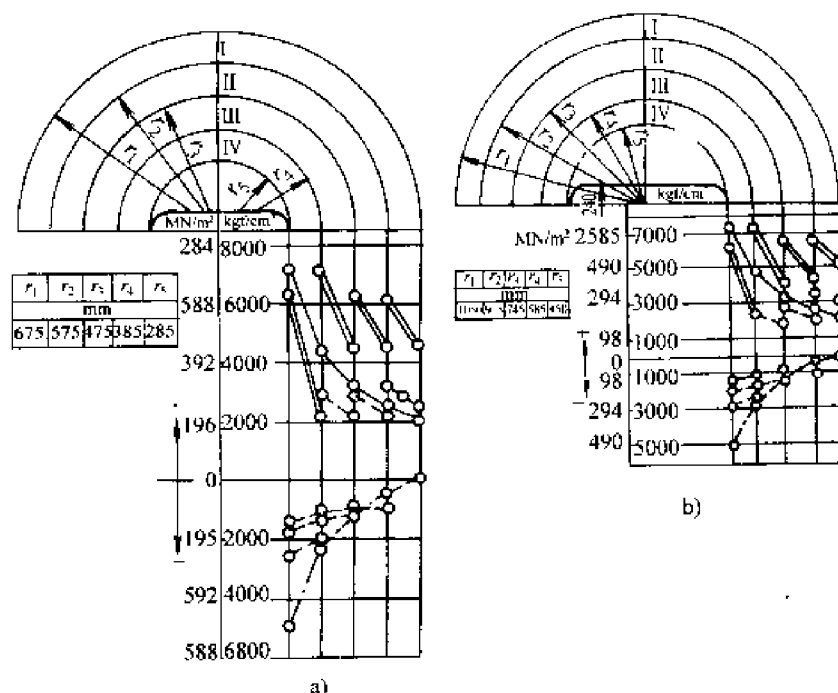


图 15.2-7 扁挤压筒中的应力分布

a) 570 mm × 170 mm b) 900 mm × 240 mm

——内压引起的切向应力，- - -内压引起的径向应力

- - - 过盈引起的切向应力；——等效应力

为了确定挤压筒各层衬套壁厚的尺寸，一般是先凭经验确定某一数值，然后通过强度计算进行修正。根据被挤压合金的性能和挤压筒的比压大小，挤压筒材料的不同等因素，挤压筒外径应等于其内径的3~5倍，而每层的厚度则根据内部受压的空心圆筒，当各层内衬套直径比值相等时的强度最大的原则来确定。如果取挤压筒的外径和内径的比值为4时，则两层挤压筒  $D_1/D_2 = 2$ ，对三层挤压筒为  $D_1/D_2 = D_2/D_1 = 1.58$ 。但生产实际中，考虑到外层里有加热孔以及键槽等而引起的强度降低，各层直径比应保持为  $D_1/D_0 < D_2/D_1 < D_3/D_2$  的关系（图 15.2-8）。表 15.2-3 为俄罗斯使用的部分挤压筒的各层厚度比。

多层挤压筒的各层厚度之间存在一个“经济比”或叫做“直径最佳比”，以  $K$  表示，则  $K = \frac{d_{bi}}{d_{Hi}}$ ，式中  $d_{bi}$  和  $d_{Hi}$  分别表示挤压筒内第  $i$  层内径与外径。 $K$  值主要取决于挤压筒的层数  $n$  和  $\rho_b/\sigma_p$ ，式中  $\rho_b$  为第  $i$  层上所受的径向拉应力， $\sigma_p$  为第  $i$  层的许用应力。“直径最佳比”表示挤压筒各层厚度设计的合理性，在保证强度的条件

下，材料能获得充分的利用。当  $n \rightarrow \infty$  时，材料利用得最充分，一般情况下， $K$  可取 0.2~0.5，而在最好的情况下， $K = 0.2 \sim 0.25$ 。

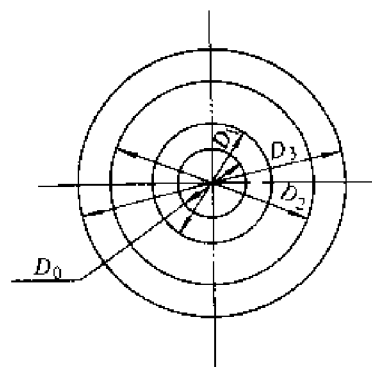


图 15.2-8 挤压筒各层衬套尺寸示意图

#### 1.4 挤压筒各衬套间配合过盈的确定

多层挤压筒均以热装形式组合，各层之间都应选择一定的过盈值。热装时，将外层衬套加热至一定温度，使其热胀，然后将内层衬套装入其中，待外衬套冷却后则对内衬套产生预紧装配应力，其方向与挤压时产生的拉应力方面相反，因而大大地降低了挤压时挤压筒内的径向拉应力。

当过盈选择合适时,可使挤压筒的使用寿命提高3~5倍。过盈值越大,则产生的预紧压应力也越大,有时甚至除完全抵消纵向拉力外,尚出现合成径向压应力,使挤压筒在非工作状态下产生压缩变形,给更换挤压筒内套带来困难。因此,合理选择挤压筒各层衬套之间过盈值是设计挤压筒的重要问题。合理的过盈值与挤压筒的比压、各层厚度和层次等因素有关:挤压筒的比压(即工作压力)愈大,过盈值也应选大些、多层套的挤压筒,越靠近内套的层次,其相对过盈值应选

大些;装配对的尺寸越大,则相对过盈值应选得越小。一般来说,由过盈值引起的热装应力以不超过挤压工作时最大单位挤压力(比压)的70%为宜。不同尺寸的装配对可按标准过盈系列选取,或按装配对处直径的 $\frac{1}{700} \sim \frac{1}{500}$ 来选取。表15.2-4为某些挤压筒过盈值的选用范围。

不同尺寸的挤压筒装配过盈量最佳选择参见表15.2-4。两层结构挤压筒尺寸,见表15.2-5所示。

表 15.2-3 俄罗斯部分挤压筒的各层厚度比

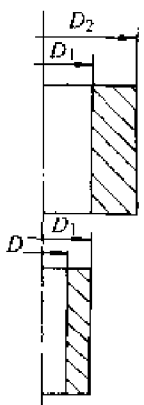
示意图	比压/MPa	$D_1$ /mm	$D_2$ /mm
	三层挤压筒		
	1 000	$1.6D$	$1.8D_1$
	800	$1.6D$	$1.6D_1$
	630	$1.5D$	$1.5D_1$
	两层挤压筒		
	500	$2.0D$	—
	400	$1.8D$	—
	350	$1.6D$	—
	250	$1.4D$	—

表 15.2-4 几种挤压筒的最佳过盈量

挤压筒结构	配合直径/mm	过盈值/mm
双层套	200~300	0.45~0.55
	310~500	0.55~0.65
	510~700	0.70~1.0
三层套	800~1 130	1.05~1.35
	1 600~1 810	1.4~2.35
四层套	1 130	1.65~2.2
	1 500	2.05~2.3
	1 810	2.5~3.0

在挤压筒装配时将外套加热装入内套,冷却后则两套之间产生热装应力 $p_k$ ,它使内套受到外压力,并引起切向压应力,对外套则产生内压力,引起切向拉应力,由热装产生的应力就是预应力。

当挤压时,内套又受到工作单位压力 $p_i$ ,它使内套产生切向拉应力,与装配时的切向压应力相抵消一部分,使实际的切向拉应力减小;由

于外套工作压力 $p_i$ 引起的切向拉应力与热装时产生的拉应力相加,而使总拉应力增加,这样就使内、外层切向应力趋于均匀分布,增加挤压筒承载能力。这就是挤压筒内外套等强度的基本思想。

多层套结构挤压筒尺寸见表15.2-6,三层套挤压筒红装参数计算公式见表15.2-7。

1.5 挤压筒的强度计算

1.5.1 圆挤压筒

挤压筒在工作时不但承受变形金属给予的压力和过盈配合所产生的压力,还受热应力和摩擦力的作用。这些外力作用的结果在挤压筒中产生径向应力 $\sigma_r$ 、切向应力 $\sigma_t$ 。为了简化计算,忽略不计由摩擦力和热应力引起的应力,只考虑由过盈配合金属变形时所产生的应力 $\sigma_r$ 和 $\sigma_t$ 。

金属作用在挤压筒壁上的单位压力 $p_b$ 与作用在挤压垫上的单位压力 $p_d$ 并不相同,通常取 $p_b = (0.65 \sim 0.85) p_d$ 。

表 15.2-5 两层套结构挤压筒尺寸

挤压力 /MN	各层尺寸/mm			各层直径比		比压 /MPa	筒长 /mm	备注
	$D$	$D_1$	$D_2$	$D_1/D$	$D_2/D_1$			
49	360	550	1 350	1.53	2.45	491	1 200	水压机
34.3	280	635	1 250	2.26	1.97	568	1 000	水压机
19.6	200	380	920	1.9	2.42	636	815	水压机
19.6	170	400	810	2.35	2.03	882	810	油压机
15.98	170	290	710	1.70	2.45	769	735	油压机
12.25	130	300	710	2.31	2.37	942	680	油压机
11.76	115	300	750	2.61	2.50	1 155	715	水压机
7.35	85	300	750	3.53	2.50	1 325	555	水压机
5.88	100	215	545	2.15	2.53	700	400	水压机

表 15.2-6 多层套结构挤压筒尺寸

挤压力/MN		19.6	122.5	122.5	122.5	122.5
筒内腔尺寸/mm		230×90	φ420	φ650	φ800	850×320
各层套尺寸/mm	$D$	230×90	420	650	800	850×320
	$D_1$	324	800	1 130	1 130	1 130
	$D_2$	540	1 500	1 810	1 810	1 500
	$D_3$	920	1 810	2 100	2 100	1 810
	$D_4$	—	2 100	—	—	2 100
各层直径比	$D_1/D$	1.41	1.90	1.74	1.41	1.33
	$D_2/D_1$	1.67	1.88	1.60	1.60	1.33
	$D_3/D_2$	1.70	1.21	1.16	1.16	1.21
	$D_4/D_3$	—	1.16	—	—	1.16
	$D_3/D$	4.00	4.31	3.23	2.63	2.13
	$D_4/D$	—	5.00	—	—	2.47
备 注		三层扁筒	四层圆筒	三层圆筒	三层圆筒	四层扁筒

## (1) 圆挤压筒的强度方程式

圆挤压筒的应力为

$$\begin{cases} \sigma_t = p_i \frac{r^2}{R^2 - r^2} \left( 1 + \frac{R^2}{\rho^2} \right) & (15.2-1) \\ \sigma_r = p_i \frac{r^2}{R^2 - r^2} \left( 1 - \frac{R^2}{\rho^2} \right) & (15.2-2) \end{cases}$$

式中  $\sigma_t$  —— 挤压筒壁上的切向应力 (MPa);  
 $\sigma_r$  —— 挤压筒壁上的径向应力 (MPa);  
 $p_i$  —— 挤压筒的比压 (单位压力) (MPa);

 $r$  —— 挤压筒的内半径 (mm); $R$  —— 挤压筒的外半径 (mm); $\rho$  —— 从挤压筒轴线到所求应力点的距离 (mm)。

根据第三强度理论, 等效应力

$$\sigma = \sigma_t - \sigma_r = p_i \frac{2R^2 r^2}{\rho^2 (R^2 - r^2)} \quad (15.2-3)$$

由上式看出, 最大应力发生在挤压筒的内表面上 (当  $\rho = r$  时), 其值为

表 15.2-7 三层挤压筒热装参数计算公式

参 数	双层筒	三层挤压筒	参 数	三层挤压筒
壁厚系数 $K = \frac{r}{R}$	$1 - \frac{p}{\sigma}$	$\sqrt{\left(1 - \frac{2p}{3\sigma}\right)^3}$	将第三层套装到第1、2层套组合体上的过盈 $\delta_{3-2,1}$	$\frac{2}{3} \rho_3 \frac{p}{E} \frac{1+2\sqrt[3]{K^2}}{1+\sqrt[3]{K^2}}^{①}$ (从内套装起)
允许压力 $p$	$(1-K)\sigma$	$\frac{3}{2}\sigma(1-\sqrt[3]{K^2})$	将第三层套装到第1、2套组合体上的加热温度 $\Delta T_{3-2,1}$	$\frac{8}{3} \frac{1+2\sqrt[3]{K^2}}{1+\sqrt[3]{K^2}} p + 100$ (从内套装起)
第一层衬套的内半径 $\rho_1 = r$	$r = KR$	$r = KR$	将第三层套装到第二层套上的过盈 $\delta_{3-2}$	$\frac{2}{3} \rho_3 \frac{p}{E}^{①}$ (从外套装起)
允许应力 $\sigma$	$\frac{p}{1-K}$	$\frac{2p}{3(1-\sqrt[3]{K^2})}$	装到第二层套上第三套的加热温度 $\Delta T_{3-2}$	$\frac{8}{3} p + 100$ (从外套装起)
第二层衬套的内半径 $\rho_2$	$\sqrt{rR} = \frac{r}{\sqrt{K}}$	$\frac{r}{\sqrt[3]{K}}$	将第2、3层套组合体装到第一层套上的过盈 $\delta_{2,3-1}$	$\frac{2}{3} \rho_3 \frac{p}{E} \frac{1+2\sqrt[3]{K^2}}{1+\sqrt[3]{K^2}}^{①}$ (从外套装起)
第三层衬套的内半径 $\rho_3$	$R = \frac{r}{K}$	$\frac{r}{\sqrt[3]{K^2}}$	为了装到第一层套上第二、三层套组合体加热温度 $\Delta T_{2,3-1}$	$\frac{8}{3} \frac{1+2\sqrt[3]{K^2}}{1+\sqrt[3]{K^2}} p + 100$ (从外套装起)
挤压筒外半径 $R$	$\frac{r}{K}$	$\frac{r}{K}$		
将第二层衬套装到第一层套上过盈 $\delta_{2,1}$	$\rho_2 \frac{p}{E}^{①}$	$\frac{2}{3} \rho_2 \frac{p}{E}$ (从内套装起)		
将第二层衬套装到第一层套上的加热温度 $\Delta T_{2,1}$	$4p + 100$	$\frac{8}{3} p + 100$ (从内套装起)		

①E 为挤压筒材料的弹性模量。

$$\sigma_t = p_i \frac{(R^2 + r^2)}{(R^2 - r^2)} \quad (15.2-4)$$

$$\sigma_r = -p_i \quad (15.2-5)$$

$$\sigma = p_i \frac{2R^2}{(R^2 - r^2)} \quad (15.2-6)$$

将挤压筒的内半径与外半径之比称为挤压筒的壁厚系数  $K$ , 即  $K = \frac{r}{R}$ 。则式 (15.2-4)、(15.2-5) 可改成如下形式:

$$\sigma_t = p_i \frac{1+K^2}{1-K^2}$$

$$\sigma_r = -p_i$$

$$\sigma = p_i \frac{2}{1-K^2}$$

如果挤压筒内表面等效应力  $\sigma$  等于许用应力  $\sigma_p$ , 则可按上式推得最大许用压力为

$$p_{\max} = \frac{1-K^2}{2} \sigma_p \quad (15.2-7)$$

将  $p_{\max} = \frac{1-K^2}{2} \sigma_p$  改写成  $\frac{p_{\max}}{\sigma_p} = -\frac{1}{2} K^2 +$

$\frac{1}{2}$ ; 函数图像为开口向下抛物线如图 15.2-9 所示。由图 15.2-9 和式 (15.2-7) 可以得出这样的结论:

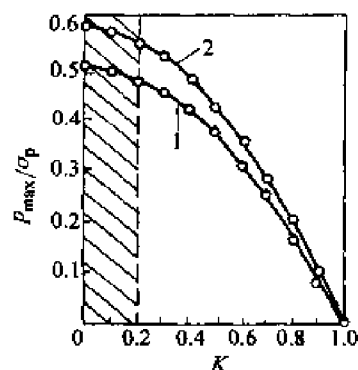


图 15.2-9 挤压筒最大许用压力  $p_{\max}$  与壁厚系数  $K$  值的关系曲线

1—按第三强度理论 2—按第四强度理论

1) 当挤压筒外径无限增大时 ( $R \rightarrow \infty$ ,  $K \rightarrow 0$ ), 挤压筒上最大  $p_{\max}$  压力也不超过  $0.5\sigma_p$  即

$$p_{\max} < 0.5 \sigma_{p0}$$

2) 挤压筒的壁厚系数  $K < 0.25 \sim 0.3$  是不合理的, 因为当继续增加外径时, 其许用压力几乎不能增加。原因是当挤压筒壁厚很大时, 其内层和外层的载荷发生急剧不均。

挤压筒外表面上的等效应力与内表面上的等效应力之比用  $m$  表示。即

$$m = p_i \left[ \frac{2R^2 r^2}{R^2 (R^2 - r^2)} \right] / p_i \left[ \frac{2R^2 r^2}{r^2 (R^2 - r^2)} \right] \\ = \left( \frac{r}{R} \right)^2 = K^2$$

由图 15.2-9 可知, 当  $K = \frac{r}{R} = 0.5$  时, 挤压筒外层上所承受的载荷已是内层的  $1/4$ ; 当最小的合理值  $K \approx 0.3$  时, 挤压筒外层上所受载荷仅为内层的  $1/10$ , 换句话说, 当  $K < 0.3$  时, 外层金属基本没参加工作。由此可见, 单层挤压筒中的受力状态是极不合理的, 如果采用由几个衬套按一定的过盈量组装到一起的多层挤压筒, 就可以避免这种现象。

(2) 多层挤压筒的应力状态及强度方程式

设多层挤压筒 (图 15.2-10) 是由许用应力不同的几层箍圈组装而成, 并引用以下符号:

$\rho_i$  ——第  $i$  层套的内半径 (从里往外数)  $\rho_1 = r_1$ ,  $\rho_{n+1} = R$ ;

$p$  ——挤压筒工作压力;

$p_i$  ——挤压筒工作时, 第  $i$  层套上内表面的压力, 最内层即第一层有  $p_1 = p$ ;

$\sigma_i$  ——第  $i$  层套上的许用应力;

$K_i$  ——第  $i$  层套上内半径与外半径之比,

即第  $i$  层套上的壁厚系数  $K_i = \frac{r_i}{r_{i+1}}$ 。

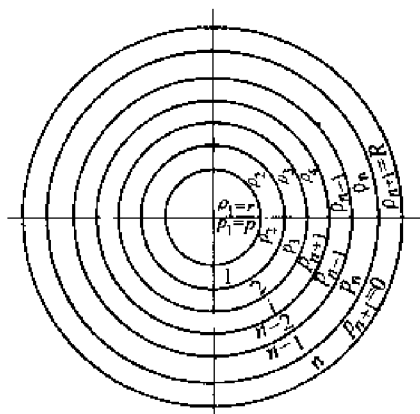


图 15.2-10 多层圆挤压筒示意图

挤压筒总的壁厚系数  $K =$

$$K_1 K_2 K_3 \cdots K_{n-2} K_{n-1} K_n = \prod_{i=1}^n K_i$$

如果挤压筒第  $i$  层受内压力  $p_i$  和外压力  $p_{i+1}$  的作用, 利用厚壁圆筒应力计算公式可求出内表面的应力为

$$\text{切向应力 } \sigma_{\theta} = \frac{p_i (1 + K_i^2) - 2p_{i+1}}{1 - K_i^2}$$

$$\text{径向应力 } \sigma_r = -p_i$$

根据第三强度理论得出等效应力  $\sigma$  的公式:

$$\sigma = \sigma_{\theta} - \sigma_r = 2 \frac{p_i - p_{i+1}}{1 - K_i^2} \quad (15.2-8)$$

由  $n$  层衬套组成的圆挤压筒可承受的最大压力为

$$p = p_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sigma_i (1 - K_i^2) \quad (15.2-9)$$

式 (15.2-9) 表明, 由  $n$  个具有许用应力为  $\sigma_i$  的衬套组装而成的圆挤压筒, 可承受的压力是衬套数  $n$  和每个衬套筒上壁厚系数  $K_i$  的函数。当  $K$  值选取不同系列的数值时, 则可按照式 (15.2-9) 得到不同大小的许用压力  $p$ 。用该力来寻求出一个最佳的  $K_i$  值系统, 以保证得到最大的  $p$  值, 设计出最佳挤压筒。这种确定方法可以用以下等效方法来代替, 即

1) 在给定的压力  $p$ 、层数  $n$  和许用应力  $\sigma_i$  的条件下, 最佳挤压筒应具有最小的外形轮廓尺寸, 即具有最大的壁厚系数;

2) 在给定的压力、层数和壁厚系数  $K$  的条件下, 最佳挤压筒各层衬套的应力  $\sigma_i$  应最小。

为了求得最大可能的压力  $p$ , 对式 (15.2-8) 进行微分求导数并令导数等于零, 计算出函数的最大值。由此可知, 为获得最佳挤压筒必须具备如下条件:

$$\sigma_1 K_1^2 = \sigma_2 K_2^2 = \sigma_3 K_3^2 = \cdots = \sigma_n K_n^2 \\ = \cdots \cdots \sigma_n K_n^2$$

任意层套筒 (第  $i$  层) 的壁厚系数

$$K_i = \sqrt{\frac{\sigma_a - \frac{2p}{n\sigma_i}}{\sigma_i}} \quad (15.2-10)$$

总的壁厚系数

$$K = \sqrt{\left( \frac{\sigma_a - \frac{2p}{n\sigma_i}}{\sigma_i} \right)^n} \quad (15.2-11)$$

式 (15.2-11) 中,  $\sigma_a$  表示各层衬套允许应力的算术平均值

$$\sigma_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \cdots + \sigma_i + \cdots + \sigma_n}{n}$$

而  $\sigma_i$  表示允许应力的几何平均值:

$$\sigma_i = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \sigma_i} = \sqrt[n]{\sigma_1 \sigma_2 \cdots \sigma_n}$$

因此, 当挤压筒各衬套的允许应力不同时, 在大多数情况下, 完全可以利用式 (15.2-10) 和 15.2-11) 来确定挤压筒的最佳尺寸。当各层允许应力相同时, 这些公式可获得简化。

若  $\sigma_i = \sigma = \text{常数}$ , 那么  $\sigma_a = \sigma$ ,  $\sigma_i = \sigma$ ,

$$K = \sqrt[n]{\left(\frac{\sigma_a - 2p}{\sigma_i - n\sigma_i}\right)^n}$$

$$K_i = \sqrt[n]{\frac{\sigma_a - 2p}{\sigma_i - n\sigma_i}} = \sqrt[n]{1 - \frac{2p}{n\sigma}}$$

由式 (15.2-11) 得知, 多层挤压筒允许的最大压力等于:

$$p = \frac{n\sigma_i}{2} \left( \frac{\sigma_a}{\sigma_i} - \sqrt[n]{K^2} \right)$$

在绝大多数情况下:  $0.98 \leq \frac{\sigma_a}{\sigma_i} \leq 1$ , 即,  $\sigma_a \approx \sigma_i \approx \sigma$ , 所以

$$\frac{p}{\sigma} \approx \frac{n}{2} (1 - \sqrt[n]{K^2})$$

图 15.2-10 表示了不同  $n$  时的上述这种曲线。

在许多情况下, 挤压筒的最大允许应力不受套筒中工作应力的限制, 而受制造时衬套预紧的许用压应力  $\sigma_0$  的制约。

如果挤压筒内套内表面的预应力

$$\sigma_i^0 = -\sigma_0$$

$$\sigma_r^0 = 0$$

在工作压力作用下, 加上按厚壁圆筒计算的应力:

$$\sigma_i^p = p \frac{1+K^2}{1-K^2}$$

$$\sigma_r^p = -p$$

那么, 在工作时总的等效应力不应超过内套上的允许应力  $\sigma_1$ , 即:

$$\sigma_1 \geq (\sigma_i^0 + \sigma_i^p) - (\sigma_r^0 + \sigma_r^p) = -\sigma_0 + p \left( \frac{1+K^2}{1-K^2} + 1 \right)$$

由此得:  $p \leq \frac{1}{2} (1-K^2) (\sigma_0 + \sigma_1)$

通常用  $\gamma$  表示拉伸时与压缩时挤压筒允许应力之比, 即

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_0} = \gamma$$

所以, 多层挤压筒的最大极限压力应为

$$\left( \frac{p}{\sigma_1} \right)_{\max} = \frac{(1-K^2) \left( 1 + \frac{1}{\gamma} \right)}{2}$$

图 15.2-11 列出了当  $\gamma=1$  时上述关系曲线。图中表明, 当衬套性能一定 ( $\sigma$  固定) 时, 随着层数的增加, 挤压筒的外形尺寸减小; 当外形尺寸一定时, 随着层数的增加, 则可减少应力值。但是过多的增加衬套的层数, 并没有多大的实际效果, 因此, 挤压筒存在一个最合理的层数  $n$ 。

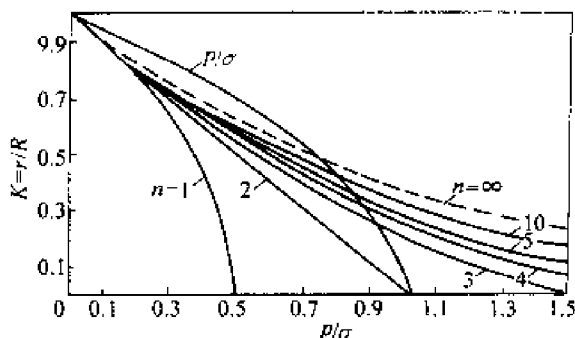


图 15.2-11 多层挤压筒的尺寸与钢材力学性能和层数间的关系曲线 ( $K=r/R$ )

由壁厚系数  $K$  的表达式可知, 最佳挤压筒的壁厚系数取决于所选择的衬套层数  $n$ 。

可以认为, 挤压筒的最合理层数应该是这样一个最小层数  $n$ , 即当  $n \rightarrow n+1$  层时, 挤压筒外径仅允许减少 5% 以下。若有两个挤压筒, 其内孔半径  $r$ , 允许应力算术平均值  $\sigma_a$  和几何平均值  $\sigma_i$  都相等, 一个制成  $n$  层, 而另一个制成  $n+1$  层, 两者工作压力相同, 分别用  $R_n$  和  $R_{n+1}$  表示  $n$  层筒和  $n+1$  层筒的外半径, 那么由以上公式可以得出:

$$\frac{R_{n+1}}{R_n} = \frac{\sqrt[n]{\left(\frac{\sigma_a - 2p}{\sigma_i - n\sigma_i}\right)^n}}{\sqrt[n+1]{\left(\frac{\sigma_a - 2p}{\sigma_i - (n+1)\sigma_i}\right)^{n+1}}}$$

由于  $\frac{\sigma_i}{\sigma_a}$  值按照挤压筒本身小于 1, 实际上大多数情况下,  $\frac{\sigma_i}{\sigma_a} \geq 0.98$ , 故可近似取为 1。因此得出下面公式

$$\sqrt[n]{\frac{\left(1 - \frac{2p}{n\sigma_a}\right)^n}{\left(1 - \frac{2p}{(n+1)\sigma_a}\right)^{n+1}}} < 0.95 \quad (15.2-12)$$

根据式 (15.2-12) 画出用于选择挤压筒最



适宜于应力减小  
5%时的临界值

适宜于外半径减小  
5%时的临界值

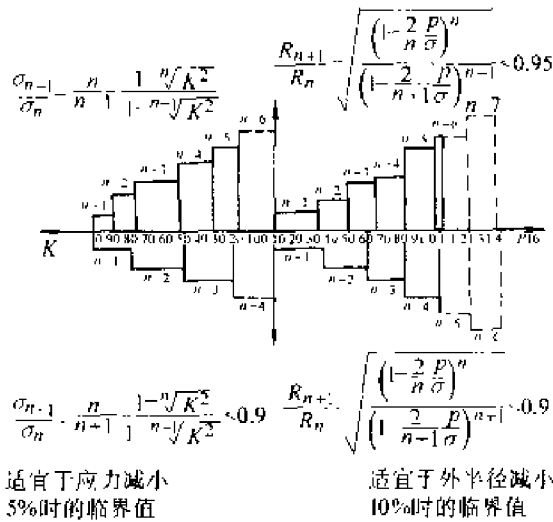


图 15.2-12 选择挤压筒最佳层数的诺谟图

佳层数的计算图表称为诺谟图（见图 15.2-12，由于  $\frac{P}{\sigma_n}$  不超过 1.1~1.2，因此，从图 15.2-12 可得出，在大多数情况下，挤压筒层数不超过 4~5 层。

圆挤压筒强度计算公式见表 15.2-7。

### 1.5.2 扁挤压筒

(1) 在内压力作用下的应力状态

设挤压筒内腔为某一对称图形  $K$ （图 15.2-13a），将形状为  $K$  的外形保角变换成单位圆的外形（图 15.2-13b），设  $Z$  点与  $\lambda$  相对应，用以下形式的函数来反映这种对应关系：

$$Z = h(\lambda) = a \left( \lambda + \frac{b}{\lambda} + \frac{c}{\lambda^3} \right) \quad (15.2-13)$$

式中  $a$ 、 $b$ 、 $c$  为待定系数，根据内腔外形和映射单位圆之间最佳对应关系的条件来确定。外壳上任一点的应力由以下方程组来确定：

$$\begin{cases} \sigma_x + \sigma_y = 4 \operatorname{Re} \left[ \frac{\phi'(\lambda)}{h'(\lambda)} + \frac{\beta_1}{R} + 3\beta_3 \frac{Z^2}{R^3} \right] \\ -\sigma_x + \sigma_y + 2i\tau_{xy} = 2 \left[ \bar{Z} \frac{\phi''(\lambda)h'(\lambda) - \phi'(\lambda)h''(\lambda)}{[h'(\lambda)]^3} + \right. \end{cases} \quad (15.2-14)$$

$$\left. b \bar{Z} \beta_3 \frac{Z}{R^3} + \frac{\phi'(\lambda)}{h'(\lambda)} - \frac{a_1}{R} - 3a_3 \frac{Z^2}{R^3} - b \frac{\beta_3}{R} \right] \quad (15.2-15)$$

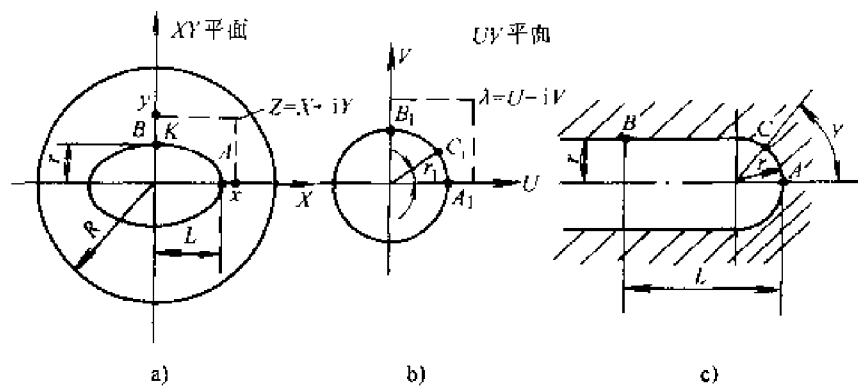


图 15.2-13 扁挤压筒应力状态示意

式中  $\sigma_x$ 、 $\sigma_y$  ——垂直  $x$  轴  $y$  轴平面上的正应力；

$\tau_{xy}$  ——上述平面的切应力；

$\operatorname{Re}$  ——以  $\operatorname{Re}$  标志下的函数的实数部分；

$\phi(\lambda)$ 、 $\psi(\lambda)$  ——计算时应确定的解析函数；

$R$  ——挤压筒的外半径；

$$\bar{Z} = x - iy$$

$$\phi(\lambda) = \frac{a_1}{\lambda} + \frac{a_3}{\lambda^3}$$

$$\psi(\lambda) = \frac{b_1}{\lambda} + \frac{b_3}{\lambda^3}$$

$a_1$ 、 $a_3$ 、 $b_1$ 、 $b_3$ 、 $\alpha_1$ 、 $\alpha_3$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_3$  ——计算时必须确定的系数。

$$\text{如果令 } \Phi(Z) = \left[ \frac{\phi'(\lambda)}{h'(\lambda)} + \frac{\beta_1}{R} + 3\beta_3 \frac{Z^2}{R^3} \right]$$

则方程 (15.2-15) 右边大括号部分里前两项和可用  $Z\Phi'(Z)$  表示，后几项和可用  $F(Z)$  表示，于是以上强度方程式可写成如下形式：

$$\begin{cases} \sigma_x + \sigma_y = 4\operatorname{Re}\Phi(Z) \\ -\sigma_x + \sigma_y + 2i\tau_{xy} = 2[\bar{Z}\Phi'(Z) + F(Z)] \end{cases}$$

解方程组即可确定挤压筒内的应力。

### (2) 确定保角函数 $h(\lambda)$

根据挤压筒内腔形状  $K$  尽可能精确地与  $X$ 、 $Y$  平面上保角单位圆相符合的条件来求出保角函数 (15.2-13) 中的系数  $a$ 、 $b$ 、 $c$ ，为此选择三个相应的吻合点来达到。其中两个是挤压筒型腔外形  $K$  与坐标轴的交点  $A$ 、 $B$ ， $A(L, 0)$  与  $A_1(1, 0)$  相对应， $B(0, r)$  与  $B_1(0, 1)$  相对应。因此两组对应点可建立方程组：

当  $A \rightarrow A_1$  时，即  $Z = L \rightarrow \lambda = 1$ ；

$$L = a(1 + b + c)$$

当  $B \rightarrow B_1$  时，即  $Z = ir \rightarrow \lambda = i$ ；

$$\begin{cases} L - r(1 - \cos\gamma) = a\cos\gamma_1 + \frac{L-r}{2}\cos\gamma_1 + \left(\frac{L+r}{2} - a\right)\cos(3\gamma_1) \\ \gamma\sin\gamma = a\sin\gamma_1 - \frac{L-r}{2}\sin\gamma_1 - \left(\frac{L+r}{2} - a\right)\sin(3\gamma_1) \end{cases} \quad (15.2-16)$$

解式 (15.2-16) 可得出：

$$\frac{a}{L} = \frac{1}{2} + \frac{r}{2L} \frac{2\sin\gamma - \sin\gamma_1 + \sin(3\gamma_1)}{\sin\gamma_1 + \sin(3\gamma_1)} \quad (15.2-17)$$

$\gamma$  角可由下面方程式来确定：

$$\cos\gamma = \sin\gamma\tan\gamma_1 - \sin\gamma_1\tan\gamma + 1 - \frac{(1 - \cos\gamma)L}{r} \quad (15.2-18)$$

最大应力发生在  $A$  点，并基本上是根据该点附近外形轮廓的曲线来确定。为了提高计算精度，可使原来的外形与  $A$  点附近的保角曲线符合的方法来达到。最好要求原始外形上的某点  $C$

与点  $C_1$  相吻合， $C_1$  点位于射线  $\gamma_1 = \frac{\pi}{2}$  上，即点  $\lambda = ei^{\frac{\pi}{2}}$  代入式 (15.2-18) 得到

$$\cos\gamma = 0.268\sin\gamma + 0.931 - \frac{0.034L}{r}$$

显然， $\gamma$  角大小仅取决于挤压筒内腔尺寸宽高比  $R = \frac{r}{L}$ 。扁挤压筒的宽高比一般为 0.25~0.35，

因此  $\gamma$  角一般处于  $22^\circ \sim 25^\circ$  范围。当  $\gamma_1 = \frac{\pi}{12}$  时，系数  $a$  可由式 (15.2-17) 确定

$$\frac{a}{L} = 0.5 + 1.035K(\sin\gamma + 0.24) \quad (15.2-19)$$

$$ir = a\left(i + \frac{b}{i} - \frac{c}{i}\right)$$

$$\text{解得：} b = \frac{L-r}{2a}, c = \frac{L+r}{2a} - 1$$

系数  $a$  的确定：根据图 15.2-13 中  $X$ 、 $Y$  平面上坐标为  $[L - r(1 - \cos\gamma) \quad ir\sin\gamma]$  的点  $C$  与  $UV$  平面上坐标为  $(\cos\gamma_1, \sin\gamma_1)$  的一点  $C_1$  相吻合条件来确定系数  $a$ ，则有

$$\begin{aligned} Z = [L - r(1 - \cos\gamma)] + ir\sin\gamma \rightarrow \lambda = \cos\gamma_1 + i\sin\gamma_1 \\ [L - r(1 - \cos\gamma)] + ir\sin\gamma = a[\cos\gamma_1 + i\sin\gamma_1 + \frac{b}{\cos\gamma_1 + i\sin\gamma_1} + \frac{C}{(\cos\gamma_1 + i\sin\gamma_1)^3}] \end{aligned}$$

于是可以得到确定系数  $a$  和角度  $\gamma$  值的两个方程式

当  $\frac{r}{L} = R \geq 0.1$  时，关系式 (15.2-19) 近似为一直线

$$\frac{a}{L} = 0.55 + 0.45K$$

于是，系数  $b$  和  $c$  有以下方程式

$$b = \frac{1-K}{1.1+0.9K} \quad (15.2-20)$$

$$c = \frac{0.1(K-1)}{1.1+0.9K} = -0.1b \quad (15.2-21)$$

故函数  $h(\gamma)$  可写成：

$$Z = h(\lambda) = a\left(\lambda + \frac{b}{\lambda} - \frac{0.1b}{\lambda^3}\right)$$

求函数  $h(\lambda)$  的一阶导数和二阶导数，分别为

$$h'(\lambda) = a\left(1 - \frac{b}{\lambda^2} - \frac{3c}{\lambda^4}\right)$$

$$h''(\lambda) = a\left(\frac{2b}{\lambda^3} + \frac{12c}{\lambda^5}\right) = \frac{2a}{\lambda^3}\left(b + \frac{6c}{\lambda^2}\right)$$

将式 (15.2-21) 的  $c$  值代入上式化简得到：

$$h'(\lambda) = a\left(1 - \frac{b}{\lambda^2} + \frac{0.3b}{\lambda^4}\right)$$

$$h''(\lambda) = \frac{2ab}{\lambda^3}\left(1 - \frac{0.6}{\lambda^2}\right)$$

### (3) 确定函数 $\varphi(\lambda)$ 和 $\psi(\lambda)$

由公式  $\varphi(\lambda) = \frac{a_1}{\lambda} + \frac{a_3}{\lambda^3}$  及  $\psi(\lambda) = \frac{b_1}{\lambda} +$

$\frac{b_3}{\lambda^3}$ , 求一阶导数和二阶导数, 得

$$\varphi'(\lambda) = -\left(\frac{a_1}{\lambda^2} + \frac{3a_3}{\lambda^4}\right)$$

$$\varphi''(\lambda) = \frac{2a_1}{\lambda^3} + \frac{12a_3}{\lambda^5}$$

$$\psi'(\lambda) = -\left(\frac{b_1}{\lambda^2} + \frac{3b_3}{\lambda^4}\right)$$

$$\psi''(\lambda) = \frac{2b_1}{\lambda^3} + \frac{12b_3}{\lambda^5}$$

系数  $a_1$ 、 $a_3$  和  $b_1$ 、 $b_3$  由以下方程组确定

$$\begin{aligned} a_1 = \frac{1}{1-c} \times & \left[ ab \left( \frac{ab_1}{R^2} - p \right) + A^2 [4a_1 - 3A^2 \right. \\ & \times (bb_1 + b_3)] - 3A^4 [a_1 - A^2(bb_1 + b_3)] \\ & \times (3b^2 + 2c^2 + b^2c + c + 1) \Big] \quad (15.2-22) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_3 = ac \left( \frac{ab_1}{R^2} - p \right) - & A^4 [a_1 - A^2(a_1A^2) \\ & \times (bb_1 + b_3)] (12bc + b^3 + 3b) \quad (15.2-23) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_1 = a \left( \frac{ab}{R^2} - p \right) - & A^2 b [4a_1 - 3A^2(bb_1 + b_3)] - \\ & 3A^4 [a_1 - A^2(bb_1 + b_3)] (b^3 + 2bc + 2b^2c + \\ & 3b) + a_1 b (1+c) + 3a_3 c \quad (15.2-24) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_3 = A^2 c [4a_1 - 3A^2(bb_1 + b_3)] - & A^4 [a_1 - \\ & A^2(bb_1 + b_3)] [1 + 3(2c + 2bc^2 + b^2) + \\ & a_1(1+b^2) + 3a_3 b(1+c) + a_1 c(3c+b)] \quad (15.2-25) \end{aligned}$$

式中  $p$  ——挤压筒内型腔上的压力;  $A = \frac{a}{R}$ 。

(4) 有内压力作用时扁挤压筒中的应力

此时扁挤压筒中的应力可按式 (15.2-14) 来确定, 且式中

$$a_1 = Aa_1 = \frac{aa_1}{R}$$

$$a_3 = A^3(a_1b + a_3) = \frac{a^3}{R^3}(a_1b_1 + a_3)$$

$$\beta_1 = -\frac{1}{2}Ab_1 = -\frac{1}{2}\frac{a}{R}b_1$$

$$\beta_3 = Aa_1 - A^3(bb_1 + b_3) = \frac{aa_1}{R} - \frac{a^3}{R^3}(bb_1 + b_3)$$

由此函数  $\Phi(Z)$  和  $F(Z)$  的解为:

$$\Phi(Z) = \frac{\psi'(\lambda)}{h'(\lambda)} + \frac{\beta_1}{R} + 3\beta_3 \frac{Z^2}{R_3}$$

$$\Phi'(Z) = \frac{\psi'(\lambda)h''(\lambda) - \psi''(\lambda)h'(\lambda)}{[h'(\lambda)]^3} + 6\beta_3 \frac{Z}{R_3}$$

$$F(Z) = \frac{\psi'(\lambda)}{h'(\lambda)} - \frac{a_1}{R} - 3a_3 \frac{Z^2}{R_3} - 6 \frac{\beta_3}{R} \quad (15.2-26)$$

(5) 扁挤压筒工作时由过盈产生的应力

为了使挤压筒截面上应力分布更均匀和降低周边上 A 点、B 点处的最大应力, 采用多层过盈组合结构的挤压筒是合理的。

设各装配处的过盈值分别为  $\Delta_2, \Delta_3 \cdots \Delta_n$ , 则第  $i$  层中由过盈引起的应力可用以下公式确定:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x + \sigma_y &= 4Re\Phi_i(Z) \\ -\sigma_x + \sigma_y + 2i\tau_{xy} &= 2[Z\Phi'_i(Z) + F_i(Z)] \end{aligned} \right\} \quad (15.2-27)$$

函数  $\Phi_i(Z)$ 、 $\Phi'_i(Z)$  和  $F_i(Z)$  计算方法如下:

①对于第一层套 (内衬套)

$$\Phi_1(Z) = \frac{-D}{p}\Phi'(Z) - \frac{D}{2}[D] \quad (15.2-28)$$

$$\Phi'_1(Z) = -\frac{D}{p}\Phi'(Z)$$

$$F_1(Z) = -\frac{D}{p}F(Z)$$

②对于第二层套

$$\Phi_2(Z) = \Phi_1(Z) + \frac{D}{2\Sigma P_2} \Delta_2 \quad (15.2-29)$$

$$\Phi'_2(Z) = \Phi'_1(Z)$$

$$F_2(Z) = F_1(Z) + \frac{D}{Z} \frac{\Delta_2 \rho_2}{Z^2}$$

③对于第三层套

$$\Phi_3(Z) = \Phi_1(Z) + \frac{D}{2\Sigma} \left( \frac{\Delta_2}{\rho_2} + \frac{\Delta_3}{\rho_3} \right) \quad (15.2-30)$$

$$\Phi'_3(Z) = \Phi'_1(Z)$$

$$F_3(Z) = F_1(Z) + \frac{D}{\Sigma} \frac{1}{Z^2} (\Delta_2 \rho_2 + \Delta_3 \rho_3)$$

④对于第  $i$  层套 ( $i=1, 2, 3, \cdots$ )

$$\Phi_i(Z) = \Phi_1(Z) + \frac{D}{2\Sigma} \sum_{j=2}^i \frac{\Delta_j}{\rho_j} \quad (15.2-31)$$

$$\Phi'_i(Z) = \Phi'_1(Z)$$

$$F_i(Z) = F_1(Z) + \frac{D}{\Sigma} \frac{1}{Z^2} \sum_{j=2}^i \Delta_j \rho_j$$

$$\text{其中 } \Sigma = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta_i}{\rho_i} - \frac{2c}{K^2} \sum_{i=1}^n \Delta_i \rho_i$$

$$D = \frac{2}{3} + \frac{E}{1+\mu} \Sigma$$

式中  $E$  ——挤压筒材料的弹性模量;  
 $\mu$  ——泊松比;  
 $p$  ——挤压筒平均比压 (MPa);  
 $p_i$  ——挤压筒某点比压 (MPa);  
 $\rho_i$  ——挤压筒某点与挤压筒中心的距离 (mm)。

在工作时, 挤压筒中的应力等于过盈产生的应力和内压力产生的应力之和。

对于 80MN 挤压机, 270 mm × 670 mm 扁挤压筒强度用有限元法的计算结果, 如图 15.2-14 与图 15.2-15 所示。

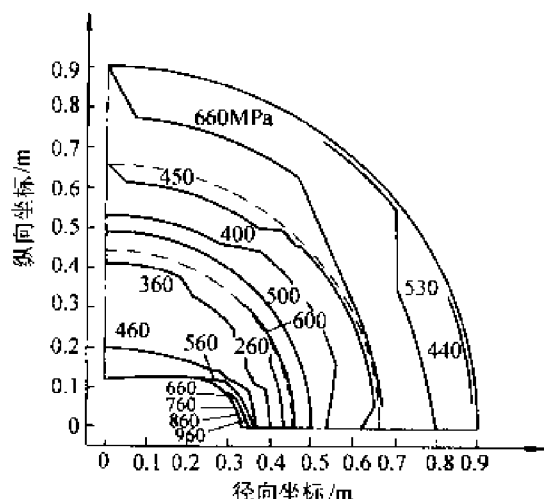


图 15.2-14 扁挤压筒在工作时的等效组合应力分布的计算结果

注: 象限内的数值表示挤压筒内各点的等效应力 (MPa)

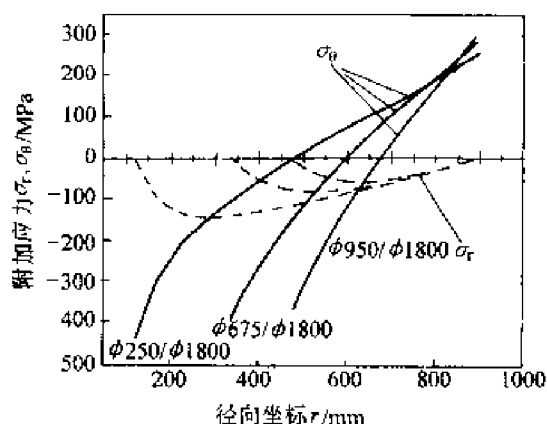


图 15.2-15 扁挤压筒内温度不均匀所引起的附加应力分布 (内表面 500°C、外表面 300°C 时)

## 1.6 挤压筒的装配

挤压筒热装时外套加热温度计算公式为

$$\Delta T = \frac{\delta}{\rho} \frac{1}{\alpha} + 150 \sim 200^\circ\text{C} \quad (15.2-32)$$

式中  $\Delta T$  ——装配温度差 (°C);  
 $\delta$  ——半径处过盈值 (mm);  
 $\rho$  ——装配对表面的半径 (mm);  
 $\alpha$  ——材料的线膨胀系数, 对大多数工  
 具钢  $\alpha \approx 12.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。

根据挤压筒热装实践, 推荐挤压筒外套加热温度为 500~550°C, 保温时间随挤压筒外套壁厚而异, 一般挤压筒保温时间 (h) 计算公式为  $1.5 \times \text{挤压筒有效厚度 (mm)} / 50$ 。如果过盈量很大 (超过 2 mm), 很少加热外套, 而是用液态氮冷却内套的方法进行组装挤压筒。

挤压筒外套与内套的配合方式有圆柱形式和圆锥形式两种。对圆柱形式配合, 只要将挤压筒内套借助起重设备放入加热保温的挤压筒外套中, 待冷却之后便成为挤压筒组合件。但是, 如果是圆锥配合时, 一般该配合锥度为  $3^\circ \sim 5^\circ$ , 而且要求配合接触面积达 70% 以上。由于外筒的内径实测尺寸和内筒外径的实际加工尺寸很难达到十分精确, 故装配时, 易产生过紧或过松现象, 保证不了应有的装配公差。为了解决此问题, 现将挤压筒内套增长 50 mm, 如图 15.2-16 所示, 装配好后, 再将内筒两端多余部分切削掉。

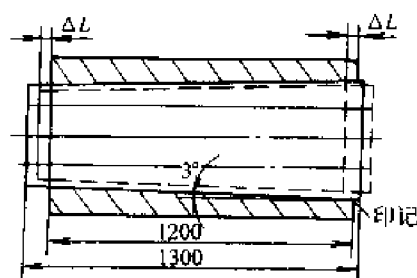


图 15.2-16 挤压筒内外套装配示意

为保证过盈准确, 可分两次装配——冷装、热装。首先是冷装, 装紧后在内筒上量出一  $\Delta L$  值, 并打上刻印, 然后将内套退出。将外套加热, 进行热装, 使内筒打刻印处移动到外筒端面上, 即完成了热装, 然后车去内筒两端多余部分。三层挤压筒热装参数计算公式见表 15.2-7。

$\Delta L$  值的求法:

$$\Delta L = \frac{\delta}{2 \tan 3^\circ} = \frac{0.75 \text{ mm}}{2 \times 0.0524} = 7.2 \text{ mm}$$

式中  $\delta$ ——装配过盈 (mm);

$3^\circ$ ——挤压筒的锥度。

表 15.2-8 给出了 49MN 挤压机挤压筒的装配数据。

表 15.2-8 49MN 挤压机挤压筒装配数据

挤压筒规格 /mm	平装装配直 径/mm	装配过盈 /mm	$\Delta L$ /mm
300	583	0.7	6.7
360	613	0.75	7.2
420	653	0.8	7.7
500	693	0.85	8.2

## 1.7 挤压筒衬套的更换

### (1) 卸内套

1) 将挤压筒置于专用加热炉内, 将其加热至  $400 \sim 450^\circ\text{C}$ , 保温  $8 \sim 24 \text{ h}$ , 然后吊放在架

上。在内套的内孔中通冷水, 内套比外套冷却得快, 内套收缩产生间隙, 靠自重从外套中脱出, 完成卸筒。

2) 在挤压机上压出锥形内套时, 可以采用安装在模支承 2 上的支承塞 1 (图 15.2-17a), 不可以用柱形毛料卸内套 (图 15.2-17b), 但可以采用中间垫环卸内套 (图 15.2-17c)。

### (2) 装内套

先把挤压筒外套加热到  $500^\circ\text{C}$  左右, 保温  $6 \sim 12 \text{ h}$ , 使外筒膨胀后, 将内套自由地放入外套, 冷却后则两层套紧密配合在一起。

## 1.8 挤压筒的使用及维修

### (1) 挤压筒损坏情况及其影响因素

1) 筒内表面在高温、高压下工作, 易磨损而使筒内径扩大或与筒垫配合不好产生划伤, 当超过  $2 \text{ mm}$  时, 可使产品产生层、起皮、气泡, 挤压垫片与残料 (压余) 分离困难, 以及产品产生粗晶环等。

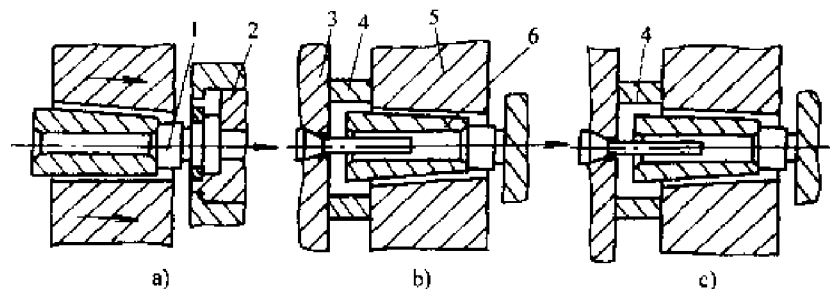


图 15.2-17 在挤压机上直接压出锥形内套

1—支承塞 2—模支承 3—挤压轴套 4—中间垫环 5—挤压筒外套 6—内套

2) 在清洗或更换衬套时, 碱溶液或水滴到外套加热器中, 造成接地, 不能送电加热。

3) 筒内套产生外胀, 使外套内孔变形, 不能使用。

4) 端面不平, 与模支承配合不严, 易使金属压飞, 产生“大帽”。

5) 内套的钢材质量不好, 淬火后内应力未消除, 或内外套配合不好, 不是红装配合, 使挤压筒产生纵向裂纹。

6) 在采用内加热式挤压筒中, 铜棒因绝缘不好, 或使用时间过长而被熔断, 造成“接地”, 这样, 必须把铜棒退出, 更换新的铜棒。

### (2) 挤压筒的合理使用

1) 及时清除粘在筒内壁上的金属并调整挤

压垫尺寸, 筒衬套每月至少检查一次。

2) 用调整挤压垫片的方法, 将衬套内残铝清除掉, 每月一次。

3) 碱洗, 将筒竖放在橡胶垫上, 向筒内注碱液。清洗时, 最好将筒加热到  $80^\circ\text{C}$  左右或挤压后有余温时进行清洗, 但不可将碱液或水滴入加热器, 每半年至少清洗一次。

4) 当筒衬套和挤压垫之间的直径差超过表 15.2-9 所列数值时, 重新加工筒衬套内孔, 并根据表 15.2-10 配备新的挤压垫。当工作部分与非工作部分的直径差超过  $1 \text{ mm}$  时, 就得重新修复或报废。

5) 在筒调运或翻转中要注意保护加热器。

6) 挤压筒前端与模支承配合处磨损时可重

新加工,直至配合好用为止。

7) 当挤压筒的工作部分与非工作部分的直径差大于1 mm时,可将筒内孔扩孔,直到工作部分与非工作部分直径差为零,然后再抛光到

$Ra0.8\ \mu\text{m}$ ,并且按新村套尺寸配置新挤压垫。

8) 当筒衬套扩径至10 mm后,可改为大号规格筒衬套使用(如将 $\phi 300\ \text{mm}$ 筒改为 $\phi 360\ \text{mm}$ 筒)。

表 15.2-9 各种规格挤压筒内径与挤压垫允许直径差

挤压力/MN	5.88	7.35	11.78	19.6	34.3	49
最大直径差/mm	0.15~0.3	0.2~0.6	0.25~0.7	0.3~0.8	0.35~0.85	0.4~0.9

表 15.2-10 几种规格挤压筒工作部分与非工作部分允许的直径差

挤压力/MN	5.88	7.35	11.78	19.6	34.3	49
直径差/mm	0.3	0.5	0.8	0.8	1	1

注意,一般不能改两次,其原因如下:如果 $\phi 300\ \text{mm}$ 筒改为 $\phi 360\ \text{mm}$ 筒, $\phi 300\ \text{mm}$ 筒外径为 $\phi 520\ \text{mm}$ ,改后壁厚为: $(520-360)/2=80\ \text{mm}$ ,根据经验,衬套壁厚大于50 mm才能使用,现在改后为80 mm是允许的。如果改两次(例如 $\phi 300\ \text{mm}$ 筒改为 $\phi 420\ \text{mm}$ 筒),改两次后壁厚为 $(520-420)/2=50\ \text{mm}$ ,处于临界状态,有危险。

9) 6MN挤压机挤压筒内套内径与模具外径的直径差见表15.2-11。

表 15.2-11 6MN挤压机筒内径与模具外径允许的直径差

内筒直径/mm	100	120
允许直径差/mm	$\leq 0.25\sim 0.4$	$\leq 0.3\sim 0.6$

## 1.9 挤压筒的加热方式

为了使金属流动均匀和挤压筒免受过于剧烈的热冲击,挤压筒在工作前应进行预加热,在工作时应保温。预加热与保温的温度应基本接近被挤压金属的温度,挤压铝、镁合金为 $400\sim 480^{\circ}\text{C}$ 。加热的方法有:①开始挤压前,把加热好的铸锭放入挤压筒内,或用煤气,或用特制的加热器从筒内加热;②在挤压筒加热炉内加热;③用电阻元件从挤压筒外部加热;④用预先设置在挤压筒中间的加热孔进行电阻加热或感应加热。不同的加热方式在挤压筒的断面上的温度分布如图15.2-18所示。

目前,一般采用两种方式对挤压筒进行保温加热。

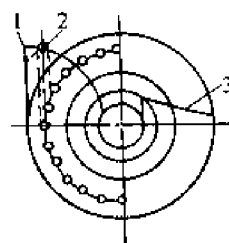


图 15.2-18 不同加热方式在挤压筒断面上的温度分布

1—外部加热 2—感应加热 3—内部加热

### 1.9.1 工频加热

工频感应加热,即将加热元件系统(一组铜棒)经包覆绝缘层后插入沿挤压筒圆周分布的轴向孔中,然后将它们串联起来通电,靠磁场感应产生的涡流加热挤压筒,如图15.2-19所示。加热元件应安放在挤压筒内受负荷最小的部位(见图15.2-20)。对圆挤压筒,一般放置在壁厚较厚的外套中,但在强度允许的情况下,最好放置在中衬套中,这样可使整个挤压筒的温度在断面上分布较为均匀。扁挤压筒的加热元件一般放置在工作内套受负荷最小的部分,呈“腰子”形分布,但是,这种分布是极不合理的,因为这往往会使挤压筒工作内套孔腔四周出现很大的温差,即大面温度高,小面温度低。例如尺寸为 $300\ \text{mm}\times 1\ 100\ \text{mm}$ 的扁挤压筒,在加热过程中,断面温度差可达 $110^{\circ}\text{C}$ 以上(如图15.2-20所示),而在工作保温阶段可降低到 $60\sim 80^{\circ}\text{C}$ ,这加剧了挤压时金属流动的不均匀性。

### 1.9.2 电阻加热

在现代化挤压工具结构中,为了缩短更换挤压筒的停工时间,便于维修和合理控制挤压温

度,一般采用电阻器外加热法对挤压筒进行保温加热,特别是对于两层衬套的挤压筒的应用更为普遍。电阻外加热器一般安放在挤压筒外面或放置在挤压筒外壳机架中,见图 15.2-22。

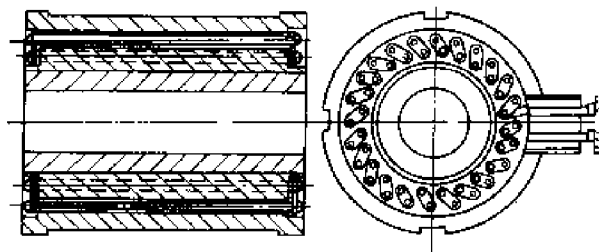


图 15.2-19 装在挤压筒衬套中的电感应加热器

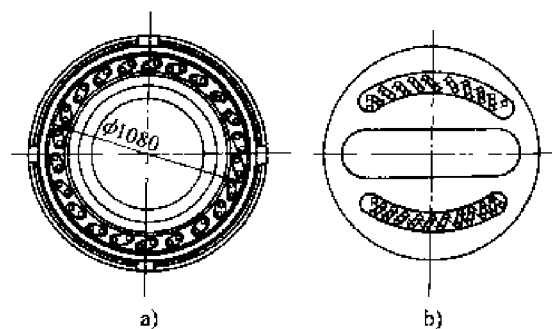


图 15.2-20 感应加热元件在挤压筒中的布置

a) 圆挤压筒 b) 扁挤压筒

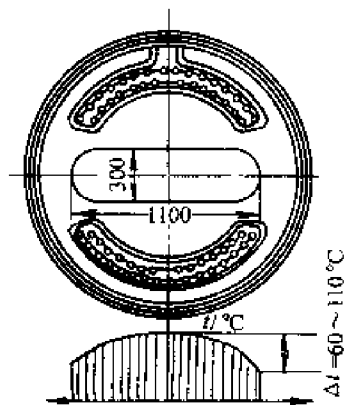


图 15.2-21 扁挤压筒工作内孔四周区域的温差曲线图

不论是预加热还是保温加热,都应选择使挤压筒断面上温度趋于最均匀的加热方法。因为挤压筒在使用过程中的温度分布梯度越大,则热应力就越大,使筒内受力状态越趋复杂化;内套和外套的热膨胀之差会出现外套脱出或破裂事故;如果加热不充分,外套温度高于内套,会降低热装效果,促使内套脱出或产生裂纹。此外,由于挤压筒断面上的温度梯度越大,会使金属流动更不均匀,增大挤压压力。另外,由于挤压筒材料

为特殊合金钢,其热导率差,因此,有必要避免急速加热和开始加热时产生的热冲击。

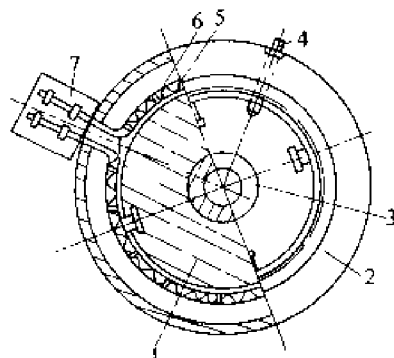


图 15.2-22 挤压筒的外电阻加热器布置图

1—外衬套 2—外壳 3—内衬套 4—热电偶  
5—电阻丝 6—加热导管 7—接线柱

在现代化的挤压筒加热装置中都设有温度自动控制系统。在采用感应加热时,用调压变压器将电压控制在 20~30 V 左右,最好不超过 36 V。

## 2 挤压轴设计

### 2.1 挤压轴的结构形式

挤压轴的结构形式与挤压筒形状、铝制品形状及种类等因素有关。常用挤压轴有以下 3 类。

1) 按挤压机结构可分为无独立穿孔系统挤压机用的实心挤压轴,以及带独立穿孔系统挤压机用的空心挤压轴。

2) 按挤压筒内孔形状可分为圆挤压轴、扁挤压轴、异形挤压轴和阶梯形挤压轴,如图 15.2-23 所示。

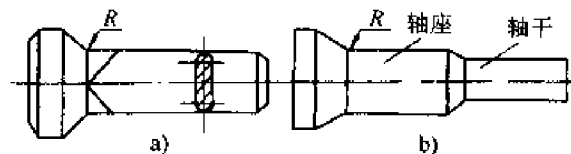


图 15.2-23 异形挤压轴

a) 扁挤压轴 b) 阶梯形挤压轴

3) 按挤压轴的组装结构可分为整体挤压轴和装配式圆柱挤压轴,如图 15.2-24 所示。按挤压方向可分为正向挤压轴和反向挤压轴,如图 15.2-25 所示。

### 2.2 挤压轴的尺寸确定

1) 挤压轴外廓尺寸 挤压轴外廓尺寸如图 15.2-26 所示。圆挤压轴的外径  $d$  根据挤压筒工





表 15.2-12 几种空心挤压轴的设计尺寸 (图 15.2-26b)

挤压力/MN	筒孔直径/mm	$D$ /mm	$d_1$ /mm	$d_2$ /mm	$d_3$ /mm	$L$ /mm	$L_1$ /mm	$L_2$ /mm	$\alpha/ (^{\circ})$
122.5	420	1 000	410	230		2 760	80	50	60
122.5	500		490	310					
122.5	650		640	385					
122.5	800		790	530					
34.3	280	560	270	165	102	1 635	185	150	30
34.3	320		310	205	132				
34.3	370		360	240	162				
24.5	200	440	195	100	82.5	1 260	35		50
24.5	220		215	120	102.5				
24.5	280		275	150	132.5				

在 400℃ 时, 5CrNiMo 钢  $\sigma_{sp} = 900$  MPa; 2) 纵向弯曲应力的计算 在挤压时, 挤压  
3Cr2W8V 钢  $\sigma_{sp} = 1\,000$  MPa; H13 钢  $\sigma_{sp} = 950$  MPa。 轴所受的全应力等于由力  $F$  和弯曲力矩  $M$  所产  
生的应力总和 (图 15.2-27), 即

表 15.2-13 几种实心挤压轴的设计尺寸 (图 15.2-26a)

挤压力 /MN	筒孔直径/mm	D/mm	d/mm	L/mm	L <sub>1</sub> /mm	α/ (°)
122.5	420	1 000	410	2 760	80	60 联结斜度
	500		490			
	650		630			
	800		780			
	850×250 <sup>①</sup>		825×230			
49	300	685	290	1 600	40	60 联结斜度
	360		350			
	420		410			
	500		490			
	570×170 <sup>①</sup>		550×160			
19.6	200	300	195	1 020	50	90 联结斜度
	170		165			
	150		145			
	230×90 <sup>①</sup>	328	225×85			
12.3	130	295	125	945	25	60
	115	295	110	945		
7.8	95	295	93	780		
	80	295	83	780		
6.2	100	203	98	500	10	
	90	203	88	500		

①为扁挤压筒孔尺寸, 长轴和短轴尺寸的单位均为 mm。

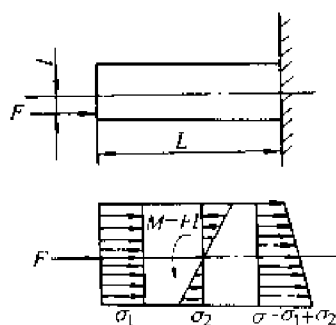


图 15.2-27 挤压轴受力分析图

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 \quad (15.2-35)$$

式中  $\sigma_1$  ——由力  $F$  产生的压应力 (MPa);

$\sigma_2$  ——由弯曲力矩  $M$  产生的弯曲应力 (MPa)。

挤压轴长度通常不超过直径的 4~5 倍, 所以对挤压轴的稳定性可以不进行单独计算而把挤压轴看成压缩杆, 把强度和稳定性的条件结合起来, 按下式校核强度:

$$\sigma_1 = \frac{F}{\varphi S} \leq \sigma'_p \quad (15.2-36)$$

式中  $\varphi$  ——许用压缩应力折减系数, 取决于挤压轴的细长比 (柔度)  $\lambda$  和挤压轴材料;

$S$  ——挤压轴的横截面积 ( $\text{mm}^2$ );

$\sigma'_p$  ——稳定条件下的许用应力 (MPa)。

$$\sigma'_p \approx \varphi \sigma_p$$

$\sigma_p$  ——许用应力 (MPa)。

细长比  $\lambda$  为

$$\lambda = \frac{\mu L}{i}$$

式中  $\mu$  ——轴材料的泊松比;

$L$  ——挤压轴的工作长度 (mm);

$i$  ——截面的惯性半径 (mm); 圆形截面

$$i = \frac{d}{4}, \text{扁形挤压轴 } i = 0.289a_1,$$

$$\text{空心挤压轴 } i = \frac{1}{4} \sqrt{d_2^2 - d_1^2}.$$

$d$ 、 $d_1$ 、 $d_2$  见图 15.2-25,  $a_1$  为扁挤压轴长半轴尺寸。

知道了  $\lambda$  和轴材料, 就可确定  $\varphi$ 。为简化计算, 一般可取  $\varphi = 0.9$ 。

弯曲力矩  $M$  所产生的应力:

$$\sigma_2 = \frac{M}{W} = \frac{Fl}{W} \quad (15.2-37)$$

式中  $W$  ——抗弯截面模量 ( $\text{mm}^3$ ), 实心轴  $W$

$$= 0.1d^3, \text{空心轴 } W = 0.1d_2^3$$

$$\left(1 - \frac{d_1^4}{d_2^4}\right), \text{扁挤压轴 } W = \frac{b_1 a_1^3}{6};$$

$F$  ——挤压轴所承受的挤压力;

$l$  ——挤压力到挤压轴中心的距离。

3) 稳定性的计算 当挤压轴的细长比  $\lambda > 100$  时, 应按欧拉公式校核其稳定性。

$$F_e \geq \frac{F}{n} \quad (15.2-38)$$

式中  $F$  ——抗压机名义压力 (N);

$n$  ——安全系数,  $n = 1.1 \sim 1.25$ ;

$F_e$  ——许可的最大临界载荷 (N)。

$$F_e = \frac{\pi^2 EI}{4L^2}$$

式中  $E$  ——弹性模量, 对于钢,  $E = 2.16 \times 10^5 \text{ MPa}$ ;

$J$  ——截面惯性矩 ( $\text{mm}^4$ ); 实心轴  $J =$

$$\frac{\pi d^4}{64}, \text{空心轴 } J = \frac{\pi}{64} (d_2^4 - d_1^4);$$

$$\text{扁挤压轴 } J = \frac{1}{12} b_1 h_1^3;$$

$b_1$  ——扁轴宽度;

$h_1$  ——扁轴高度;

$d_1$ 、 $d_2$  ——挤压轴干部的内外直径 (mm);

$L$  ——挤压轴的有效长度 (mm)。

若  $F_e \geq \frac{F}{n}$  时, 则挤压轴安全; 若  $F_e < \frac{F}{n}$  时, 则挤压轴可能失稳。一般来说, 当挤压轴的工作长度与直径之比小于 5 时, 不会产生纵向失稳。

### 3 穿孔系统设计

穿孔系统用于对铸锭穿孔并确定挤压制品内孔尺寸, 它对管材内表面质量起着决定性的作用。穿孔工具在挤压过程中承受着复杂的机械负荷和热负荷。所以, 对设计穿孔工具时, 结构形式、尺寸等亦非常重要。

#### 3.1 挤压针功能与类型

挤压针是在高温、高压下对铸锭进行穿孔和确定制品内孔尺寸, 它对保证管材内表面质量和尺寸精度起着很重要的作用。它的应用范围和结构形式在不断发展, 不仅可用于圆管、异型管生产, 而且还可以用于变截面管材生产。

挤压针按管材的生产方法不同, 可分为两种

基本类型：即固定在有独立穿孔系统挤压针支承上的固定针和固定在无独立穿孔系统挤压轴上的随动针。在挤压过程中，固定针相对于模具的位置是固定不变的，更换产品规格时，一般只要更换针尖和模芯就可以了。随动针是随着挤压过程而向前移动的，因此，针与模具工作带相对应的工作部分是不不断变化的。当改变挤压管材规格时必须更换整根挤压针和模具，同时还必须变更锭坯的内孔尺寸。各种结构的挤压针如图 15.2-28 所示。

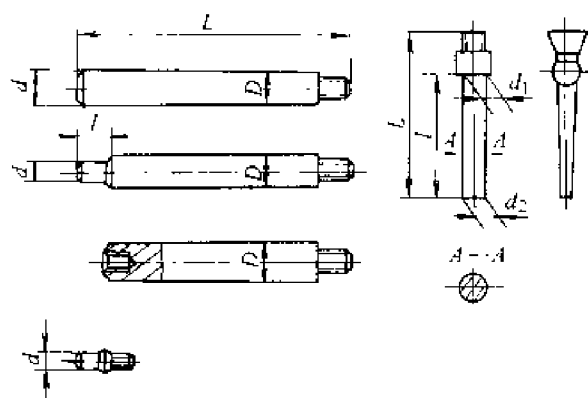


图 15.2-28 各种结构的挤压针

采用挤压针与管材模相配合还可以直接挤压形状较简单的各种型管。

改变挤压针与模具的结构还可以挤压各种变截面管材和空心变截面型材。

卧式挤压机的穿孔系统主要包括针前端、针后端、针支承、支承座、导筒和背帽等。立式挤压机上可配备独立的穿孔系统，也可把挤压针固定在挤压轴上，针与轴一般采用螺纹联接，其缺点是装卸不便，劳动强度大，有时在螺纹处产生断针。但可将很长的穿孔系统分成若干段，能减少总的弯曲度，改善对中性，节省高级合金钢材。穿孔系统结构如图 15.2-29 所示。

### 3.2 挤压针结构形式与尺寸

挤压针（如图 15.2-30 所示）的结构取决于挤压机结构、挤压方法和产品种类。

#### (1) 组合针尖尺寸

针尖直径  $\phi_2 = d_0 - 0.007d_0$ 。式中， $d_0$  为管材名义内径 (mm)；针尖工作部分长度  $L_2 = h + L_1 + L_2$ 。式中， $h$  为模具工作带长度 (mm)； $L_1$  为针尖伸出模具定径带的长度 (mm)； $L_2$  为余量 (mm)。

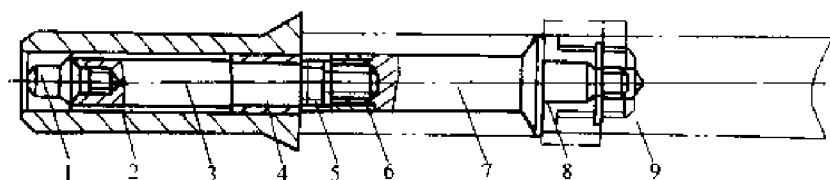


图 15.2-29 穿孔系统结构

1—针前端 2—挤压轴 3—针后端 4—铜套 5—背帽 6—导套 7—针支承  
8—压针背帽 9—穿孔压杆（接穿孔柱塞）

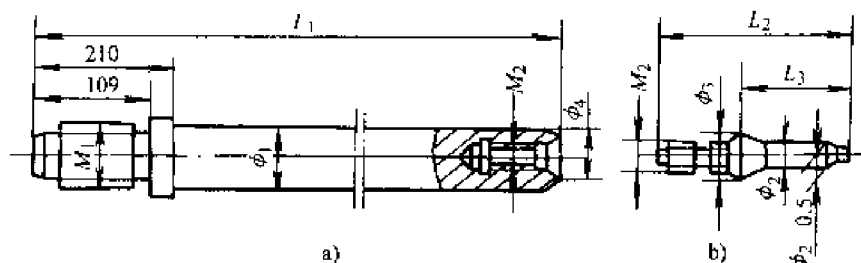


图 15.2-30 组合式挤压针

a) 针杆（针后端） b) 针尖（针前端）

$L_2$  一般不应大于残料厚度，以免金属倒流入空心挤压轴中。 $L_1$  一般取 10~20 mm，若过短，管材尺寸不稳定；过长，影响管材内表面质量。

针尖与针后端的过渡区应圆滑，过渡锥角一般取  $30^\circ \sim 45^\circ$ ，过渡区长度视针尖与针后端直径差而定，直径差大，过渡区就长些。

#### (2) 组合针后端尺寸

针后端的最大直径取决于挤压轴的最大内孔直径  $d_{\max}$

$$d_{\max} = \sqrt{D_i^2 - \frac{4F}{\pi\sigma_{0.2p}}} \quad (15.2-39)$$

式中  $D_i$ ——挤压筒的内孔直径 (mm);  
 $F$ ——挤压机名义压力 (N);  
 $\sigma_{0.2p}$ ——许用屈服强度, 对 3Cr2W8V 钢, 600°C 时  $\sigma_{0.2p}$  取 650 MPa。

为便于出入挤压轴, 挤压针后端直径一般较  $d_{\max}$  小 5 mm 以上。

针后端的最小直径由压缩强度和稳定性来确定, 即

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{4F}{\pi\sigma_{0.2p}}} \quad (15.2-40)$$

然后用稳定性来校核, 最后根据挤压机的系列化, 将针后端的直径进行归纳整理, 一般每种规格挤压筒配备 2~3 种规格的针后端。表 15.2-14 与表 15.2-15、表 15.2-16 给出 122.5MN 和 34.3MN 卧式挤压机上配针的规格。

表 15.2-14 122.5MN 挤压机穿孔针前端尺寸 (见图 15.2-31) (mm)

挤压筒直径	$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$	$\phi_4$	S	L	h	m	$\phi_n$
420	190	133	115	100	M130×6	200	450	65	25
	130	103	85	80	M100×6	200	450	65	25
500	190	133	115	95	M130×6	200	450	65	25
	230	133	115	95	M130×6	200	450	65	25
	280	183	165	155	M180×6	200	450	65	25
650	230	133	115	100	M130×6	200	480	95	40
	280	183	165	150	ITS 180×8	200	480	95	40
	340	243	225	200	ITS 240×8	200	480	95	40
800	3	323	300	280	ITS 320×12	320	600	95	40
	410	253	235	220	ITS 250×8	320	600	95	40

表 15.2-15 122.5MN 挤压机穿孔针后端尺寸 (图 15.2-32) (mm)

挤压筒直径	$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$	$\phi_4$	$\phi_5$	S	l	$l_1$
420	210	191	135	101	135	M130×6	2 750	210
	150	131	105	81	105	M100×6	2 750	210
500	210	191	135	101	135	M130×6	2 750	210
	250	231	135	101	135	M130×6	2 750	210
	300	281	185	161	185	ITS180×8	2 825	210

续表 15.2-15

挤压筒直径	$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$	$\phi_4$	$\phi_5$	S	l	$l_1$
650	250	231	135	101	135	M130×6	2 825	220
	300	281	185	151	185	ITS180×8	2 825	220
	360	341	245	201	245	ITS240×8	2 825	220
800	510	491	325	285	325	ITS320×12	2 825	350
	425	411	255	25	255	ITS250×8	2 825	350

表 15.2-16 34.3MN 挤压机上配针规格 (图 15.2-30) (mm)

挤压筒直径	针后端 $\phi_1$	针规格 $\phi_2$	$M_1$	$M_2$	$L_1$	$L_2$	$\phi_3$	$\phi_4$
280	100	13~49 (间隙 1)	M100	G1 $\frac{3}{8}$	1 585	220	56	57
	100	49~78 (间隙 1)	M100	M52×3	1 585	240	79	80
	125	79~120 (间隙 1)	M130	M76×4	1 585	300	119	120

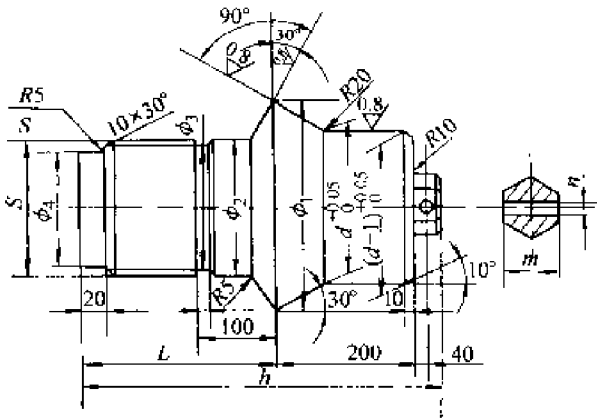


图 15.2-31 122.5MN 挤压机穿孔针前端尺寸

针后端长度主要由稳定性校核来确定,此外,与装配方式、挤压合金、产品规格和穿孔系统工具的分段设计等都有一定的关系。

(3) 单一针

单一针即针的工作区(针尖)与针杆(针后端)做成一体。它主要用于规格较大,批量较多的管材生产。为了减小金属与挤压针摩擦而产生的拉应力,沿针的轴线稍有锥度。固定针只是在工作区有锥度,随动针则沿针的整个工作长度上有锥度。有锥度的针也便于在挤压终了把针从管中拔出。

挤压针的锥度不能太大,否则挤出的管材内径尺寸变化太大,达不到公差要求。卧式挤压机随动针的锥度由管子壁厚负偏差决定。采用固定针时,其锥度在针前端 300~600 mm 长度或在整个工作长度上两端的直径差不大于 0.5 mm。立式挤压机的随动针的锥度在其工作长度上的两端直径差为 0.3~0.5 mm。

表 15.2-17 给出了 34.3MN 挤压机单一针的结构尺寸。

(4) 瓶式挤压针

它是在单一挤压针的基础上发展起来的。在卧式挤压机上使用单一针时,从模具配合上及操作上都不便,因此,出现了用瓶式挤压针取代单一针。瓶式针有单一式与组合式两种。组合式的可以节约工具钢材及减少更换模具的时间。单一式挤压针主要用于直径较大的管材。组合式挤压针是把定位部分设计成针尖部分,其余部分设计成针后端或针杆。针后端根据生产管材规格的要求设计几种不同的规格,当更换产品的规格时,只需换一个针尖就可以了。

3.3 挤压针强度校核

挤压针在高温(每次穿孔后针表面温度瞬时

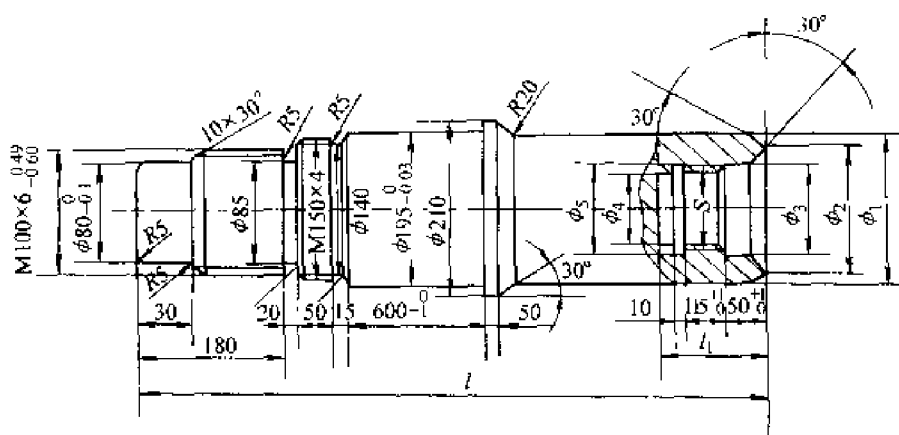


图 15.2-32 122.5MN 挤压机穿孔针后端尺寸

表 15.2-17 34.3MN 挤压机单一针  
的结构尺寸 (各符号见图 15.2-33)

筒直径 $D$	$d$	$d_1$	M
370	125	135	M130
	125	135	M130
280	125	104.6	M130

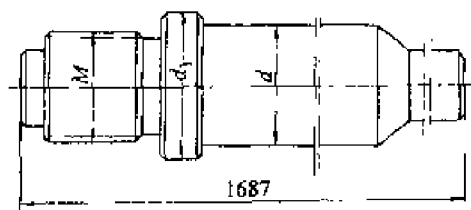


图 15.2-33 34.3MN 挤压机单一针结构

可达  $650 \sim 700^\circ\text{C}$ ) 下承受压缩和拉伸载荷, 因此, 穿孔时其纵向受压缩容易发生弯曲; 挤压时由于沿针表面的金属流动速度超过挤压针的行走速度 (随动针挤压时), 产生强烈的摩擦使其受到拉伸作用。所以, 在设计时, 必须对挤压针的稳定性 (即抗弯强度与抗拉强度) 进行校核。

## (1) 抗弯强度校核

计算结果满足下式要求时, 挤压针不会发生弯曲。

$$F \leq \frac{F_c}{n}$$

式中  $n$  ——稳定性安全系数, 一般取 1.3 ~ 3.0;

$F$  ——工作载荷 (N);

$F_c$  ——使针产生弯曲的临界压力 (N), 其计算方法如下:

$$F_c = \frac{\pi^2 EJ}{(\mu L)^2} \quad (15.2-41)$$

式中  $E$  ——弹性模量,  $E = 2.2 \times 10^5 \text{ MPa}$ ;

$J$  ——截面惯性矩 ( $\text{mm}^4$ ), 对于圆柱形  $J = \frac{\pi d^4}{64}$ ;

$A$  ——针的横截面积 ( $\text{mm}^2$ ),  $A = \frac{\pi}{4} d^2$ ;

$d$  ——穿孔针的有效直径 (mm);

$L$  ——穿孔针的计算长度 (mm);

$\mu$  ——稳定性系数, 当针的一端刚性固定而另一端自由时,  $\mu = 2$ ; 若一端固定另一端铰链固定时,  $\mu = 0.7$ ;

稳定性安全系数也可表示为

$$n = \frac{F_c}{F_z} = \frac{\sigma_c}{\sigma_{Np}}$$

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

$$\lambda = \frac{\mu L}{i}$$

$$i = \sqrt{\frac{J}{S}}$$

式中  $\sigma_c$  ——临界应力;

$\lambda$  ——柔度;

$F_z$  ——允许的压力 (N);

$\sigma_{Np}$  ——允许的稳定压应力 (MPa)。

当  $\lambda$  值较小时, 即  $\lambda < \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_p}}$  时 ( $\sigma_p$  为材料的比例极限) 则式 (15.2-41) 已不适用, 可由  $\lambda$  值确定折减系数  $\varphi$ , 则

$$\sigma_{Np} = \varphi \sigma'_p, \quad \sigma'_p = \frac{\sigma_{0.2}}{R_0}$$

式中  $\sigma_{0.2}$ ——材料的屈服强度 (MPa);  
 $R_0$ ——安全系数,  $R_0 = 1.3 \sim 1.5$ 。

稳定条件为

$$\sigma - \frac{F}{S} \leq \sigma_{\text{kp}}$$

穿孔时, 穿孔针的安全条件为

$$\sigma_Q \leq \frac{\sigma_0}{n}$$

式中  $\sigma_Q$ ——挤压针安全应力 (MPa);  
 $\sigma_0$ ——穿孔针上所受的最大应力 (MPa),  
 $\sigma_0 = Z (\sigma'_0 + \sigma''_0)$

式中  $Z$ ——考虑到穿孔时金属冷却的速度系数, 取决于  $d$  和  $D_i$  的值, 一般取  $1.0 \sim 1.4$ ;

$\sigma'_0$ ——穿孔变形应力 (MPa);

$\sigma''_0$ ——由于摩擦作用在穿孔针上产生的应力 (MPa)。

$$\sigma'_0 = \frac{4D}{d^2} (L_2 - a) \tau_{\text{cp}}$$

$$L_2 = L_0 \frac{D_0}{D}$$

式中  $L_2$ ——铸锭微粗后的长度 (mm);  
 $\tau_{\text{cp}}$ ——平均剪切应力 (MPa),  $\tau_{\text{cp}} = (0.5 \sim 0.6) \sigma_b$ ;

$D$ ——管材直径 (mm);

$d$ ——穿孔针的直径 (mm);

$D_0$ ——铸锭的原始直径 (mm);

$L_0$ ——铸锭的原始长度 (mm);

$\sigma_b$ ——材料的抗拉强度 (MPa);

$D_i$ ——挤压筒直径 (mm);

$a$ ——相当于针上最大应力时, 铸锭穿孔部分长度 (mm)。

$$\sigma''_0 = \frac{4f_s a \sigma_H}{d}$$

式中  $f_s$ ——穿孔针和铸锭之间的摩擦系数;  
 $\sigma_H$ ——针表面正压力 (MPa), 当  $f_s \sigma_H \leq 0.5 \sigma_s$  时,  $\sigma_H = \sigma_{s0}$ 。

## (2) 抗拉强度校核

挤压时, 作用在挤压针上的拉伸力  $F_L$  为

$$F_L = \sigma_{\text{cp}} f \pi d L + \sigma'_{\text{cp}} f_1 \pi d L_1 \quad (15.2-42)$$

式中  $\sigma_{\text{cp}}$ ——变形区金属作用于穿孔针上的平均应力 (MPa),  $\sigma_{\text{cp}} \approx \sigma_{0.2}$ ;

$\sigma_{0.2}$ ——变形金属的屈服强度 (MPa);

$\sigma'_{\text{cp}}$ ——被挤压管材对针端部的平均应力 (MPa);

$f$ ——金属和穿孔针的摩擦系数;

$f_1$ ——变形区内管材对针的摩擦系数;

$d$ 、 $D$ ——穿孔针和管材直径 (mm);

$L$ ——变形区高度 (mm),  $L = \frac{D_i - D}{2}$ ;

$L_1$ ——在变形区外管中针前端长度 (mm)。

所以, 作用在穿孔针上的拉伸应力  $\sigma_b$  为

$$\sigma_b = \frac{F_L}{A} \leq \sigma_{\text{bp}}$$

式中  $A$ ——穿孔针截面积 ( $\text{mm}^2$ );

$\sigma_{\text{bp}}$ ——允许的抗拉强度 (MPa)。

## (3) 组合针的强度校核

组合针在使用时多在螺纹处断裂, 因此, 在校核强度时, 主要校核其螺纹部分, 见图 15.2-34。

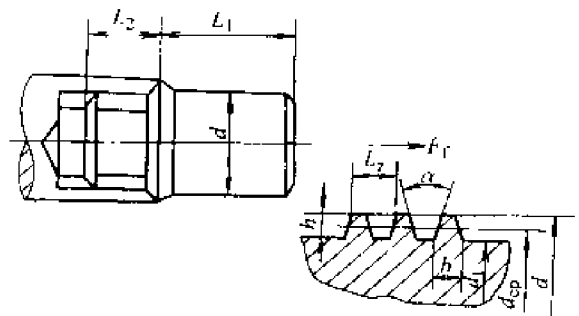


图 15.2-34 组合针强度校核示意

挤压时, 穿孔针上产生摩擦拉伸力  $F_1$  (N)。

$$F_1 = A p f$$

式中  $A$ ——穿孔针后端圆柱部分截面积 ( $\text{mm}^2$ );

$p$ ——比压 (MPa);

$f$ ——金属与针间的摩擦系数。

## ① 抗拉强度 $\sigma_b$ 的计算式

$$\sigma_b = \frac{F_1}{\frac{\pi}{4} d_1^2} \leq \sigma_{\text{bp}} \quad (15.2-43)$$

式中  $d_1$ ——螺纹的小径 (mm)。

在  $350 \sim 400^\circ\text{C}$  时, 3Cr2W8V 钢  $\sigma_{\text{bp}} \approx 1200$  MPa, 5CrNiMo 钢  $\sigma_{\text{bp}} \approx 900$  MPa, H13 钢  $\sigma_{\text{bp}} \approx 1000$  MPa, 4Cr5MoSiV 钢  $\sigma_{\text{bp}} \approx 1100$  MPa。

## ② 抗弯强度 $\sigma_{\text{bb}}$ 的计算式

$$\sigma_{\text{bb}} = \frac{M}{W} = \frac{F_1 \frac{h}{2}}{Z \frac{\pi d_1 b^2}{6}} = \frac{3 h F_1}{\pi Z d_1 b^2} \leq \sigma_{\text{bbp}} \quad (15.2-44)$$

式中,  $h$ 、 $Z$ 、 $b$ 、 $d_1$  分别为螺纹牙高、工作圈数、牙根宽度和小径,  $\sigma_{btp}$  为许用抗弯强度, 在  $350 \sim 400^\circ\text{C}$  时, 对 3Cr2W8V 钢  $\sigma_{btp} \approx 1\,200\text{ MPa}$ 。

③抗剪强度  $\tau$  的计算式

$$\tau = \frac{F_f}{Z\pi d_1 b} \leq \tau_p \quad (15.2-45)$$

式中  $\tau_p$  ——许用抗剪强度, 对钢材  $\tau_p = 0.7\sigma_{btp}$ 。

④抗压强度  $\sigma_{bc}$  的计算:

$$\sigma_{bc} = \frac{4F_f}{Z\pi(d^2 - d_1^2)} \leq \sigma_{bcp} \quad (15.2-46)$$

式中,  $d$  为螺纹大径, 对 3Cr2W8V 钢  $\sigma_{bcp} \approx 1\,200\text{ MPa}$  ( $350 \sim 400^\circ\text{C}$  时), 对 H13 钢  $\sigma_{bcp} \approx 1\,000\text{ MPa}$  ( $350 \sim 400^\circ\text{C}$  时)。

## 4 挤压垫设计

### 4.1 挤压垫的结构

挤压垫放在铸锭和挤压轴之间, 其主要作用是避免挤压轴与高温金属坯料直接接触, 防止轴端面过早磨损、粘铝、包轴和变形, 从而提高挤压轴的使用寿命。挤压垫的结构形式与尺寸、设备、挤压方法、产品类型等有直接关系。

在挤压铝合金时, 为减少垫片与金属间的粘结摩擦, 一般垫片尽量做得薄一些, 且带有凸缘(工作带), 如图 15.2-35 所示。

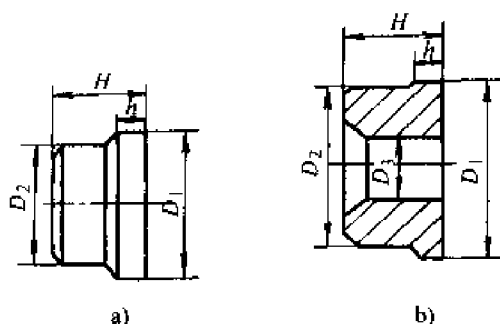


图 15.2-35 挤压垫片结构

a) 实心垫 b) 空心垫

为了简化工艺, 提高生产效率, 减少或消除残料, 提高成品率, 研究成了一种先进的固定式挤压垫。

近年来为了改善挤压产品质量, 提高成品率和劳动效率, 曾采用不同端面的垫片, 其目的是为了减少缩尾。有时为了挤压超长产品, 采用端

面呈凹形的垫片; 有时为了减少挤压机辅助工作的时间, 把垫片固定在轴的端头上。当挤压时, 垫片外径在挤压力作用下被胀开, 刚好与挤压筒内径保持一理想间隙, 挤压完了时, 由于挤压力消除, 垫片外径收缩, 垫片外径与挤压筒内径保持较大间隙, 可以顺利地筒内退出。为了使挤压垫与金属容易分离, 在挤压前可往固定垫上涂抹油或喷油雾润滑, 实践证明效果较好。

### 4.2 挤压垫的尺寸

1) 挤压垫外径  $D_1$   $D_1$  主要取决于挤压筒直径, 挤压筒与挤压垫外径之差  $\Delta D$  值与挤压机的技术特性、能力和筒径均有关系。在卧式挤压机上,  $\Delta D$  值一般取  $0.30 \sim 1.5\text{ mm}$ ; 在立式挤压机上, 一般取  $0.15 \sim 0.4\text{ mm}$ 。大直径挤压筒的取上限, 小直径挤压筒的取下限。

$\Delta D$  必须选取合适才能使挤压生产顺利进行。 $\Delta D$  过大会引起金属倒流, 有时把垫片和挤压轴包住, 造成分离残料(压余)困难, 挤压轴粘有金属还影响制品的表面质量。用粘铝较多的挤压轴进行生产, 铝型材因成层和起皮等而成为废品的可能性会明显增加。

$\Delta D$  过小时, 往挤压筒送垫片困难, 挤压筒的磨损增加, 操作者稍有失误就可能啃伤挤压筒内壁, 或卡在挤压筒中很难出来。

在确定  $\Delta D$  值之前, 必须对挤压筒的内孔尺寸进行仔细的测量和分析, 根据挤压筒的内孔尺寸的最小值来配置挤压垫。当挤压筒磨损严重时, 必须进行修复后重新配垫片。

扁挤压筒的垫片尺寸, 除了考虑筒的内孔尺寸外, 尚需考虑挤压筒截面的位置。由于扁挤压筒热装配后, 内孔形状发生变化, 在扁筒的长轴和短轴将产生很大的温差, 使变形更加严重。所以, 在配置扁挤压垫时, 其  $\Delta D$  值应从两侧半径部分的  $0.5 \sim 0.6\text{ mm}$  逐渐过渡到垫片中间部分的  $1.0 \sim 1.5\text{ mm}$ 。

有时为了提高挤压机效率, 节省垫片的传递时间, 在挤压时, 要用两个以上挤压垫倒换使用, 这时必须保证同时使用的几个垫片的外径大体一致。对使用的两个以上垫片的直径差做了明确的规定:

挤压力/MN	5.88	7.35	11.78	19.6
	34.1	49		



垫片径差/mm 0.05 0.08 0.1 0.1  
0.1 0.15

脱皮挤压时,  $\Delta D$  值取 2~3 mm, 其值大一些可以保证脱皮充分。有时铸锭表面质量不好, 有夹杂物、偏析等缺陷, 脱皮挤压可将  $\Delta D$  值取大一些。

2) 空心挤压垫内腔直径  $D_1$ 、 $D_3$  主要取决于针后端直径  $D_0$ , 若  $D_2 = D_0 + \Delta D$ , 则  $\Delta D$  的数值与挤压机能力和  $D_0$  有关。对卧式挤压机,  $\Delta D$  一般取 0.3~1.2 mm; 对立式挤压机, 一般取 0.15~0.5 mm。

$\Delta D$  过大, 不仅起不到调整挤压针中心的作用, 同时可能会引起金属回流, 严重时会把针包住, 使挤压不能顺利进行;  $\Delta D$  过小, 针后端进出困难, 操作不便, 有时可能卡伤挤压针, 所以必须慎重选取  $\Delta D$  值。

3) 挤压垫厚度  $H$ 、 $H$  主要根据挤压筒直径和比压来确定, 一般情况下,  $H \approx (0.2 \sim 0.4) D_1$ 。

$H$  过大, 较笨重, 浪费钢材;  $H$  过小, 容易变形和损坏。

4) 挤压垫工作带厚度  $h$  挤压垫的工作带是指凸缘的高度, 一般情况下, 取  $h \approx \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}\right) H$ 。

常用实心 and 空心垫尺寸见表 15.2-18、表 15.2-19。特殊形状和用途的挤压垫, 如固定式挤压垫、润滑挤压用垫、反挤压用垫、静液挤压用垫和无残料挤压用垫等的设计, 在这里不做更多的介绍, 可在专门的手册中查到。

表 15.2-18 实心挤压垫尺寸 (图 15.2-35)

挤压力 /MN	挤压筒内孔 直径/mm	$D_1$ /mm	$D_2$ /mm	$h$ /mm	$H$ /mm
7.35	95	94.7	90	20	50
7.84	85	84.7	82	20	60
12.25	115	114.6	112	20	60
19.6	200	119.5	195	30	70
24.5	230	229.5	225	30	90
49	420	419.5	410	30	150
122.5	650	649	640	50	150

### 4.3 挤压垫的强度校核

挤压垫的变形及损坏程度与挤压力的大小、挤压温度和连续挤压的时间等有关。当挤压垫承受的压力超过材料的允许应力时, 其工作面就会产生过度压缩变形。因此, 在设计时必须进行抗压强度校核。

表 15.2-19 空心挤压垫尺寸 (图 15.2-35)

挤压力/MN	挤压筒内孔直径/mm	$D_1$ /mm	$D_2$ /mm	$D_3$ /mm	$h$ /mm	$H$ /mm
6.17	85	84.4	81	30.4	20	50
24.5	280	279.5	275	130.5	30	90
34.3	320	319.5	315	130.5	40	100
122.5	800	798.8	790	511.2	50	150

$$\sigma_{bc} = \frac{F_{\max}}{F} \leq \sigma_{bcp} \quad (15.2-47)$$

式中  $F_{\max}$ ——最大挤压力 (N);

$F$ ——垫片工作部分的截面积 ( $\text{mm}^2$ );

$\sigma_{bc}$ ——垫片上的压应力 (MPa);

$\sigma_{bcp}$ ——材料的许用抗压强度 (MPa),

$\sigma_{bcp} \approx (0.9 \sim 0.95) \sigma_{0.2}$ ;

$\sigma_{0.2}$ ——材料的屈服强度 (MPa);

对于内孔直径大的空心垫, 还应按薄板计算公式校核抗弯强度。

### 4.4 固定挤压垫的设计及主要结构形式

对于传统的活动垫片系统而言, 固定式挤压垫片具有许多明显的优点, 诸如简化工艺、减少工序、节省非工作时间、节约建设投资和减少工作场地等, 因而在现代化挤压机上被广泛应用。市场上有多种固定式挤压垫片系统设计方案, 但其使用性能和工作质量因挤压机的不同而各异。因此, 固定式挤压垫片的设计对它的工作质量和使用寿命起着重要的作用。

## (1) 固定挤压垫的结构及分类

按胀径方式可分为胀圈式和胀口式两种,前者垫体与外环是分开的,而后者垫体与外环为一体。

按固定在挤压轴上的方法可分为固结式和动结式两种(见图15.2-36)。

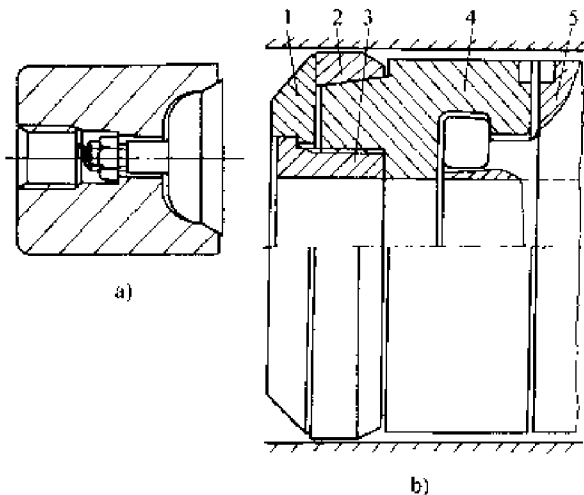


图15.2-36 固结式

a) 和动结式 b) 固定挤压垫结构

1—垫体 2—支承锥 3—螺塞

4—可动环 5—挤压轴

固结式是把挤压垫固定在挤压轴上,不允许有径向偏移。然而,在生产使用过程中,挤压轴与挤压筒的对中很难保持不发生变化。为了适应这种可变的条件,固定挤压垫装在挤压轴上,应该可以径向浮动,这种型式称为动结式。

如果将胀径方式和固结进行组合,那么固定挤压垫可细分为四种:固结胀圈式、固结胀口式、动结胀圈式和动结胀口式。

动结式(图15.2-36b)中垫体4做成带空腔圆柱形,在外部的--端车成带 $6^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 的圆锥角,并留有一个台肩作为支承锥2的限程。支承锥2的外表面是圆柱形,内表面为与垫体1的圆锥相配合的内锥孔。在垫体1搪孔的内腔的一端车有内螺纹,以便与螺塞3相连接。在垫体1的相反端加工成梯形槽,以便与挤压轴5相结合。垫体1上凹槽内径比挤压轴上相配凸缘的外径大 $8\sim 10\text{ mm}$ 。这样就可以保证挤压垫顺利地进入挤压筒内套。对挤压轴与挤压筒的对中要求就不必太严了。可动环4的外端面加工有 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 的倒角,内孔车出台肩,用螺塞3将可动环和支承锥2保持在挤压垫的垫体1上。为防止装配后的

挤压垫从挤压轴上掉下来,在垫体1和挤压轴5上装有定位键。

在使用时,由于金属的挤压力作用在可动环1的外端面上,使支承锥2纵向移动 $2\sim 4\text{ mm}$ ,使支承锥本身直径增加 $0.4\sim 0.6\text{ mm}$ ,以此来封住被挤压的金属。挤压终了时,挤压垫从挤压筒中抽出,在回程过程中除支承锥本身弹性作用之外,挤压筒内套若和支承锥有接触时,还会有摩擦力来协助支承锥恢复到原始位置。

这种固定挤压垫由于可动环1与被挤压金属接触面积大,因而作用力很大,被挤压的金属在单位压力较低时就可被封住,即此种挤压垫低压密封性好。挤压垫和挤压轴采用梯形槽连接,而不是螺纹结合,这样除了自由度大以外,减少了应力集中,有利于挤压垫和残料分离。

## (2) 固定挤压垫结构分析与计算

1) 应力—应变分析 图15.2-37所示为固定挤压垫为挤压力—变形曲线。

由图15.2-37可以看出,固定挤压的变形分为三个阶段。第一阶段为快速变形阶段,在此阶段挤压力增加,垫片外环沿径向迅速扩大。

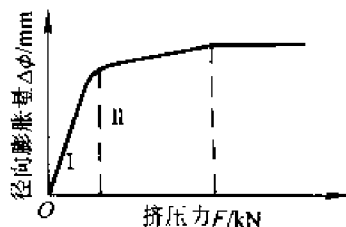


图15.2-37 固定挤压垫挤压力—变形曲线

当外力增大到一定值,即挤压力大到使垫芯底面与垫体上面开始接触时,变形进入第二阶段—缓慢变形阶段,在此阶段,变形随挤压力显著增大而缓慢增大。当挤压力大到使垫芯背面与垫体上完全接触时,变形进入第三阶段—停止变形阶段,在此阶段固定挤压垫相当于一块实体,可以认为固定挤压垫外环不再变形。

当固定挤压垫工作时,垫芯承受三向压应力,破坏的可能性较小;而外环主要承受轴向压应力、径向压应力和环向拉应力,较容易达到很高的应力值。因此,在分析固定挤压垫的变形和应力时,应着重研究外环的应力场和应变场。

2) 固定挤压垫的设计原则 通过受力分析可知,影响固定挤压垫变形的关键结构参数为

$A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $\alpha$ ，只有计算出合理的结构参数，才能合理地设计固定挤压垫（见图 15.2-38）。

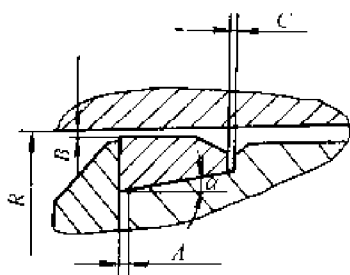


图 15.2-38 固定挤压垫结构简图

固定挤压垫应具备以下功能①在高温下能够传递压力；②工作时始终能够密封挤压筒；③回程时无载荷过高或刮伤筒壁。

要实现上述几种功能，在设计固定挤压垫时，要考虑两个最关键性的问题，其一是几何条件，在载荷作用下固定挤压垫应具备一定的径向膨胀能力；其二是力学条件，固定挤压垫在满足几何条件的同时，其内应力应在材料的许用应力范围内。

由图 15.2-38 得到：

$$A = B \cot \alpha$$

$\alpha$ ：一外环的斜角一般取  $15^\circ \sim 20^\circ$

$B$ ：一外环外圆周与挤压筒内孔间隙  
外环的周向应变可用下列公式表示：

$$\epsilon = (\sigma_t - \mu \sigma_r - \mu \sigma_z) / E$$

式中  $\sigma_t$ ——切向应力；

$\sigma_r$ ——径向应力；

$\sigma_z$ ——轴向应力；

$\mu$ ——波桑系数；

$E$ ——扬氏模量。

强度条件： $\sigma_t - \mu \sigma_r - \mu \sigma_z \leq \sigma_p$ ， $\sigma_p$  固定挤压垫材料的许用应力。

推荐参数： $A = 1.5 \sim 2 \text{ mm}$

$$A - C = 0.2 \sim 0.3 \text{ mm}$$

$$B = 5\% D_i \quad D_i \text{ 挤压筒内径}$$

图 15.2-39 为固定挤压垫的挤压力—径向膨胀量的理论计算值与实测值的比较曲线。

### 3) 几种典型固定挤压垫结构

①动结胀口式固定挤压垫（见图 15.2-40）

②动结胀圈式固定挤压垫（见图 15.2-41）

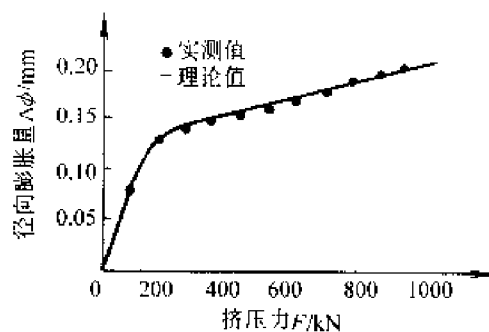


图 15.2-39 有限元计算结果与实测值的比较

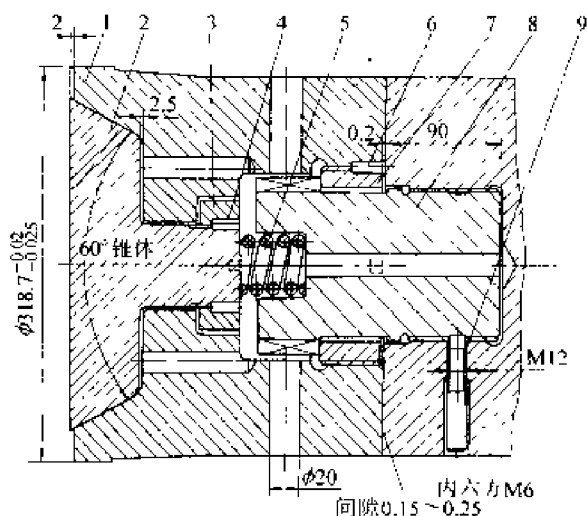


图 15.2-40 动结胀口式固定挤压垫

1—垫体 2—锥体 3—螺母 4—定位销

5—弹簧 6—销子 7—大螺母 8—螺栓

9—内六方位定位销

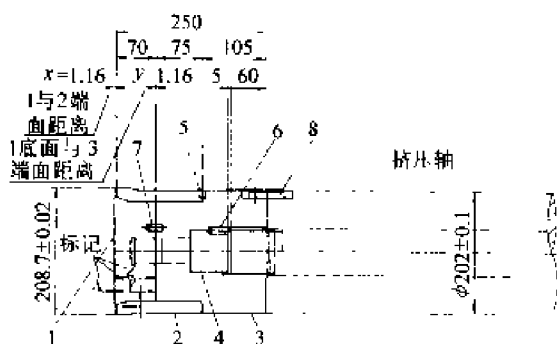


图 15.2-41 动结胀圈式固定挤压垫

1—锥体 2—胀圈 3—联结体 4—联结螺钉

5—定位销 6—定位销 7—定位销 8—联结定位键

## 5 其他挤压工具设计

### 5.1 模支承

模支承，也称之为模套，是安装模子和模垫的基本工具。通常由键或销钉使之严格对正模子

和模垫的中心,并与模支承连结成为一个整体,既增加了模具组件的强度,又能保证产品顺利通过模腔通道。模支承的结构形式,随挤压机结构、挤压工艺方法和产品种类不同而异。几种常用模支承的结构,如图 15.2-42 所示。

模支承的尺寸,主要取决于挤压筒规格、压

型嘴(或模架)和模子的外形尺寸。通常,一台挤压机上均配备有 3~5 种规格化了的模支承。其外径与压型嘴(或模架)的内孔直径一致,而内孔尺寸与模子和模垫的外径相同,其厚度等于模子与模垫厚度之和。某些挤压机常用模支承的主要尺寸,列于表 15.2-20 中。

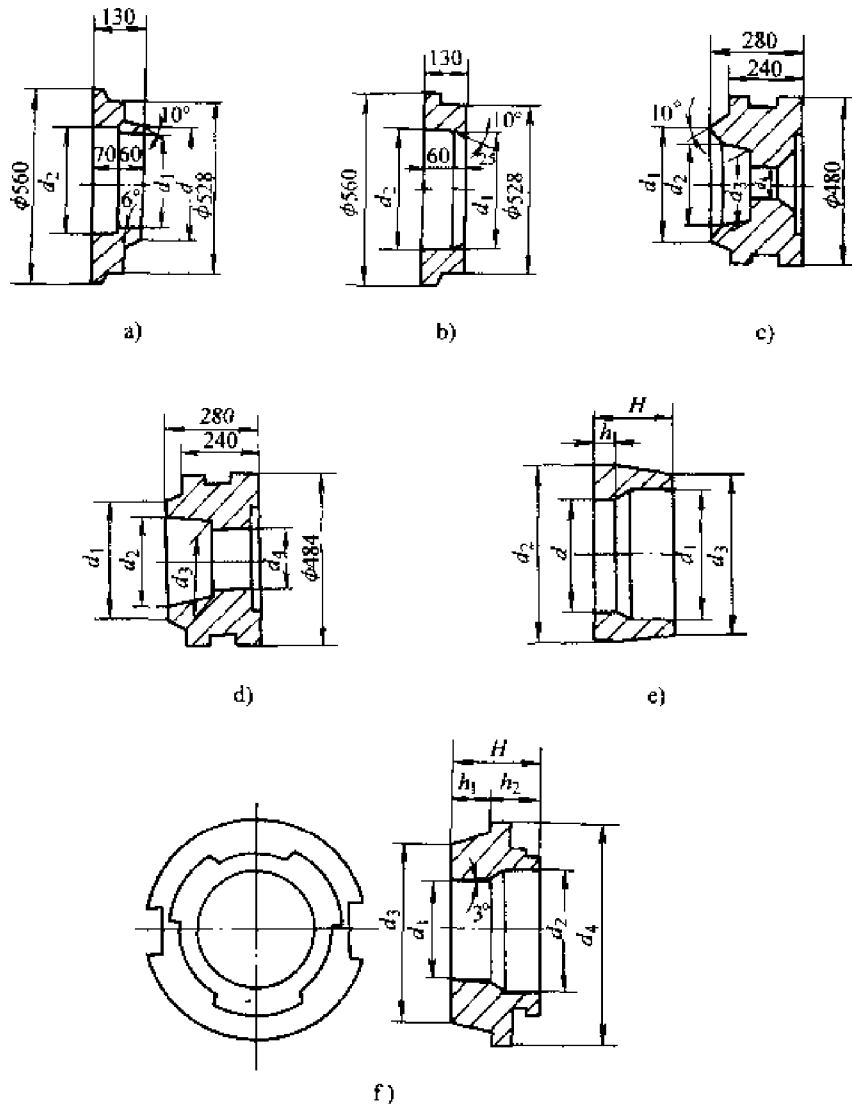


图 15.2-42 几种常用模支承结构

- a) 50MN 挤压机用普通模支承 b) 50MN 挤压机用平面组合模支承  
c) 35MN 挤压机用普通模支承 d) 35MN 挤压机用四肋管模支承  
e) 20MN 挤压机用模支承 f) 20MN 挤压机用舌型模支承

## 5.2 垫环

在大型挤压机上,特别是在挤压几何断面形状复杂的产品或难挤压的型材时,必须在模垫后面配用专垫环,以增加模子和模垫的强度。此种

垫环的结构形式,根据挤压机类型及挤压工具的装配形式,而有所差别。如在 50MN 或 125MN 挤压机上挤压成型壁板类型材时,一般都要配用内孔基本上与模子型孔相似的前环、中环和后环。有时为了操作方便,通过压紧环把前环、中

坏和后环固紧，一起装到压型嘴上去。在中小型挤压机（包括油压机）上，可采用支承垫或专用垫环，其工作部分的形状与型材相似，而尺寸比型材断面尺寸放大 6~12 mm 即可。

表 15.2-20 常用模支承的主要尺寸

挤压机吨位 /MN	挤压筒内孔直径 /mm	模 支 承 尺 寸/mm									设计图例
		$d$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$h_1$	$h_2$	$H$	$\alpha$	
50	300,360	300,360	265	277.6	—	—	—	—	—	—	图 15.2-42a
	420,500	420,500	—	—	—	—	—	—	—	—	
	420,500	420,500	360	372.6	—	—	—	—	—	—	图 15.2-42b
	300	—	312.4	324.8	—	—	—	—	—	—	
35	360	—	372.4	384.8	—	—	—	—	—	—	图 15.2-42c
	280	—	280	230	228	60~180	—	—	—	20°	
	370	—	370	32	314.4	240	—	—	280	—	图 15.2-42d
	280	—	280	320	315.8	240	—	—	240	—	
20	200	200	227	269	265	—	40	—	120	—	图 15.2-42e
12.7.5	148	148	177	214	209.8	—	32	—	102	—	
7.5	113	—	113	142	230	264	45	57	102	—	图 15.2-42f
20	200	—	200	227	300	360	40	30	120	—	
125	420	320	320	332	—	—	—	—	250	6°	形状参考图 15.2-42a 最大外径为 1 295 mm
	500	420	420	434	—	—	—	—	250	6°	
	650	640	640	650	—	—	—	—	250	10°	
	800	670	670	714.8	—	—	—	—	250	10°	

5.3 压型嘴和模架

压型嘴和模架统称为模座。通常用于组装型材模组件，以保证模具在挤压过程中不产生位移，并与挤压筒紧密配合，成为最重要的挤压工具之一。为提高生产效率和产品质量，模座的结构设计应具有高的精度、容易更换模具、便于操作。

压型嘴是一种纵动式模座，主要用于大型挤

压机上和有特殊要求（如挤变断面型材和带肋壁板型材等）的挤压机上。压型嘴的结构形式和尺寸设计，通常与挤压机吨位、结构形式以及型材品种有关。几种常用压型嘴的结构形式，如图 15.2-43 所示。

活动模架有横动式和转动式两种。为实现快速换模，最大限度缩短非生产时间，一般都设计成两位式或多位式结构。两位横动式模架结构形式，如图 15.2-44 所示。

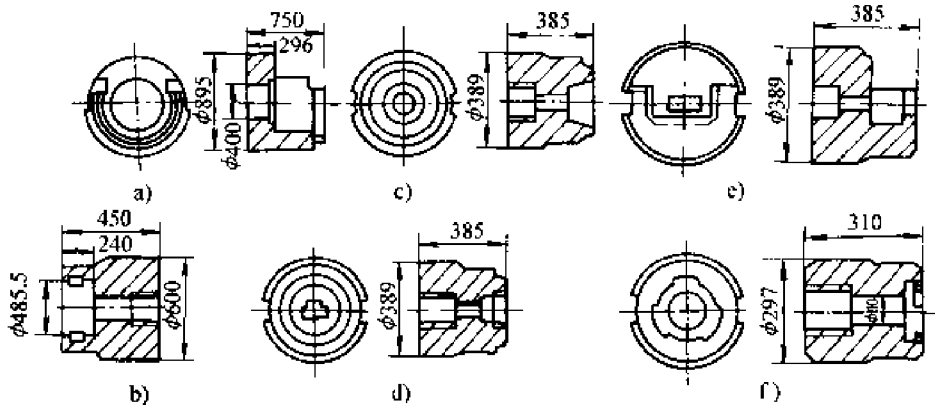


图 15.2-43 几种常用压型嘴的结构形式

- a) 50MN 和 125MN 挤压机用 b) 35NM 挤压机用 c) 20MN 挤压机用  
d) 挤压变断面型材用 e) 扁挤压筒挤压用 f) 舌型模挤压用

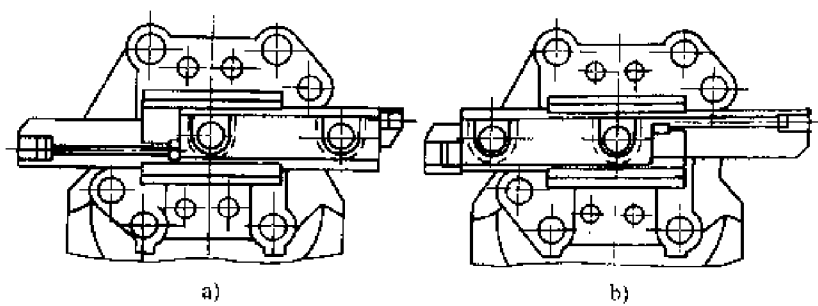


图 15.2-44 两位横动式模架结构

a) 用于第一工位 b) 用于第二工位

## 第3章 挤压模具设计

### 1 概述

#### 1.1 挤压模结构要素

模具的典型结构要素是指挤压模的外形结构和截面形状。下面仅以铝合金挤压中最基本和使用最广泛的平面模和锥形模为例,对其典型结构要素,如模角 $\alpha$ 、定径带长度 $h$ 、入口圆角 $r$ 、出口直径 $d_w$ 、外形尺寸进行简要分析。

##### (1) 模角

模角 $\alpha$ 是指模具轴线与其工作端面之间所构成的夹角,见图15.3-1。平模的模角 $\alpha$ 等于 $90^\circ$ ,其特点是在挤压时形成较大的死区,阻止铸锭表面的杂质、缺陷、氧化皮等流到制品的表面上,可获得良好的制品表面,但在挤压某些易在死区产生断裂的金属与合金时,会引起制品表面分层、起皮和小裂纹。采用平模挤压时,消耗的挤压力较大,模具容易产生变形,使模孔变小或者将模具压塌,特别是在挤压某些高温、高强的难变形合金时,上述现象更明显。从减少挤压力,提高模具使用寿命的角度来看,应使用锥形模。根据模角 $\alpha$ 与挤压力的关系,当 $\alpha=45^\circ\sim 60^\circ$ 时,挤压力出现最小值。但是当 $\alpha=45^\circ\sim 50^\circ$ 时,由于死区变小,铸锭表面的杂质和脏物可能被挤出模孔而恶化制品的表面质量。因此,挤压铝合金用锥形模的模角应大于 $50^\circ$ ,一般可取 $55^\circ\sim 65^\circ$ 。应该指出,随着挤压条件的改变,合理模角也会发生变化。如在静液挤压时,随着挤压系数的变化,模角可取在 $15^\circ$ (小挤压系数)到 $40^\circ$ (大挤压系数)之间。静液挤压时,模具

的模角比正常挤压时要小的主要原因是工具与金属之间的摩擦力较小。不同工作介质的摩擦力也不一样,因此,其合理模角也会发生变化。

为了兼顾平面模和锥形模的优点,出现了平锥模和双锥模。双锥模的模角为 $\alpha_1=60^\circ\sim 65^\circ$ , $\alpha_2=10^\circ\sim 45^\circ$ (见图15.3-12e)。但在挤压铝合金时,为了提高挤压速度,最好取 $\alpha_2=10^\circ\sim 13^\circ$ 。

此外,还采用流线模、平流线模和碗形模等,这些模具的模角是连续变化的。

挤压铝合金型材大多采用平面模,因其加工比较简单。锥形模主要用来挤压铝、镁合金管材。碗形模主要用于润滑挤压和无残料挤压。

##### (2) 定径带长度 $h$ 和直径 $d$

定径带又称工作带,是模具中用以保证挤压制品的形状、尺寸和表面质量的区段。

设计 $d$ 的基本原则是,在保证挤压制品不超出图样规定公差的前提下,尽量延长模具的使用寿命。影响制品尺寸的因素很多,如温度、模具材料、被挤压金属材料、制品形状和尺寸、拉伸矫直量以及模具变形情况等,在确定模具定径带直径时,一般应根据具体情况着重考虑其中的一个或几个影响因素。

定径带长度 $h$ 过短,制品尺寸难于稳定,易产生波纹、椭圆等缺陷,同时,模具易磨损,会大大降低模具的使用寿命;但 $h$ 过长,会增大与金属的摩擦,增加挤压力,易粘结金属,使制品表面出现划伤、毛刺、麻面、搓衣板型波浪等缺陷。

$h$ 应根据挤压机的结构(立式或卧式)、被挤压金属材料、产品的形状和尺寸等因素来确定。在立式挤压机上挤压管材时,一般 $h=2\sim 6\text{ mm}$ ;挤压镁合金时,一般 $h$ 的最小值为 $1.5\sim 3\text{ mm}$ ,最大值依制品的尺寸和形状确定。

##### (3) 出口直径 $d_w$ 或出口喇叭锥

模具出口直径 $d_w$ 过小,则易划伤制品表面,甚至会引起堵模。但 $d_w$ 过大,会大大削弱定径带的强度,引起定径带过早地变形、压塌,

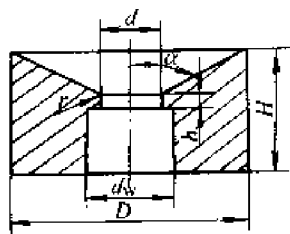


图 15.3-1 挤压模的结构要素

明显地降低模具使用寿命。因此,在一般情况下,出口带尺寸应比定径带尺寸大3~6 mm,对于薄壁管或变外径管材的模具,其值可适当增大。为了增大模具的强度和延长模具的使用寿命,出口带可做成喇叭锥。出口喇叭锥角(从挤压型材离开定径带开始)可取 $1^{\circ}30' \sim 10^{\circ}$ (此值受锥刀角度的限制)。特别是对于壁厚小于2 mm而外形十分复杂的型材模具,为了保证模具的强度,必须做成喇叭出口。有时为了便于加工,也可设计成阶梯形的多级喇叭锥。

为了增大定径带的抗剪强度,定径带与出口带之间可以 $20^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 的斜面并以圆角半径为1.5~3.0 mm的圆弧连接。

#### (4) 入口圆角

模具的入口圆角 $r$ 是模具工作端面与定径带形成的圆角。它可防止低塑性合金在挤压时产生表面裂纹和减少金属在流入定径带时的非接触变形,同时也减少在高温下挤压时模具棱角的压塌变形。但是,圆角增大了接触摩擦面积,可能引起挤压力增高。

$r$ 值的选取与金属强度、挤压温度和制品尺寸、模具结构等有关。挤压铝及其合金时,端面入口角应取锐角,但近年来也有些厂家在平面模入口处做成 $r=0.2 \sim 0.75$  mm的入口圆角,在平面分流组合模的入口处做成 $r=0.5 \sim 5$  mm的圆角。

#### (5) 其他结构要素

除了上述几个最基本的结构要素之外,铝合金挤压模具设计结构要素还包括:阻碍角,止推角(或促流角),阶段变截面型材模中的“料兜”、过渡区,组合模的凸脊结构、分流孔和焊合腔的形状、结构和尺寸,以及穿孔针的锥度和过渡形式,模具的外廓形状与尺寸等。

## 1.2 外形尺寸及其标准化

此处主要论述常用棒材模、管材模以及实心截面型材模的外形结构、尺寸及其标准化。

#### (1) 外形结构

目前广泛采用以下几种不同外形结构的挤压模。

1) 带倒锥体的锥形模 它与模垫一起安装在模支承内(图15.3-2a),广泛用于7.5~20 MN卧式挤压机上挤压各种截面形状的型材,

其优点是足够的强度,可节省模具材料。

2) 带凸台的圆柱形模 它与模垫一起安装在模支承内(图15.3-2b),主要用于挤压横截面形状不太复杂的型材。虽然制造时消耗的钢材略有增加,但因在模具、模垫和压型嘴端面之间建立了可靠的支承,故使用寿命长。

3) 带正锥体的锥形模 它直接安装在压型嘴内而不需使用模垫(图15.3-2c),用来挤压横截面上带有凸出部分的形状复杂的型材。为了增大支承面,需要制造专用的异形压型嘴,伴之而来的缺点是在压型嘴内装配时,需要专有自锁锥体(约 $4^{\circ}$ 的锥度),这会使得模孔的修理和挤压后由压型嘴内取出模具的操作变得复杂化。

4) 带倒锥体的锥形模 它与中间锥形环一起安装在模支承内(图15.3-2d),主要用于挤压横截面积相当大的简单型材。因为不带模垫,模具直接安放在普通的非异形压型嘴内,大大增加了模具的弯曲和压缩应力,可能导致模具损坏。这种结构的模具应用范围较窄。

5) 带倒锥的圆柱-锥形模具 模具与模垫做成一个整体(图15.3-2e),主要用来挤压截面带有悬臂部分(悬臂的高度比由3:1到6:1)的型材。由于悬臂较长,型材截面的外接圆不应超过挤压筒直径的0.6倍。在7.5~20 MN卧式挤压机上,这种结构的模具与专用的异形压型嘴配套使用。在50~200 MN挤压机上,则与专用异形垫环或专用的异形压嘴配套使用。

6) 按模支承的外形尺寸制造的加强式整体模具(图15.3-2f)。它主要用来挤压带有长悬臂部分的型材。它与专用异形压型嘴或专用垫、环配合使用。因为加工复杂,成本较高,所以这种结构的模具只有在特殊需要的情况下使用。

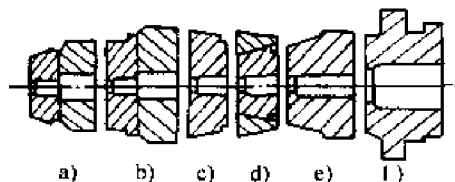


图15.3-2 挤压模的外形结构

- a) 带倒锥的锥形模 b) 带凸台的圆柱形模  
c) 带正锥体的锥形模 d) 带倒锥的中间压环锥形模  
e) 带倒锥体的圆柱-锥模 f) 外形加强模

#### (2) 外形尺寸的确定原则



模具的外形尺寸是指模具的外圆直径  $D$ 、厚度  $H$  和外形锥角。它们主要由模具的强度确定,同时,还应考虑系列化和标准化。具体来说,应根据挤压机的结构型式和能力、挤压筒的直径、型材在模具工作平面上的布置、模孔外接圆的直径、型材截面是否会影响模具和整套工具强度的因素等,来选择模具外形尺寸。推荐用以下公式来确定模具外圆直径:

当挤压筒直径小于 200 mm 时,模具外接圆直径  $D > 1.6D_0$  ( $D_0$  为经过模孔最远点所划的外接圆直径)。为了简化起见,可以直接取  $D = (0.8 \sim 1) D_i$  ( $D_i$  为挤压筒内孔直径)。

在保证模具组件(模具+模垫+垫环)有足够的强度的条件下,模具的厚度  $H$  应尽量薄,规格应尽量小,以便于管理和使用。对于中、小型挤压机,取  $H$  为 25~80 mm,对于 80MN 以上的大型挤压机,  $H$  可取 80~150 mm。

模具的外形锥度有正锥和倒锥两种,带正锥的模具,在装模时顺着挤压方向放入模支承里。为便于装卸,锥度不能太小;但锥度过大,则模

架靠紧挤压筒时,模具容易从模支承中掉出来,因此一般取其圆锥角为  $1^{\circ}30' \sim 4^{\circ}$ 。带倒锥的模具在操作时,逆着挤压方向装到模支承中,其外圆锥角为  $3^{\circ} \sim 15^{\circ}$ ,一般情况下可取  $6^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 。为了便于加工外圆锥度,在锥体的尾部一般加工出 10 mm 左右的止口。

### (3) 外形尺寸标准化和系列化

标准化、系列化的必要性:①减少模具设计与制造的工作量,降低产品成本,缩短生产周期,提高生产效率;②使模具通用性大,互换性强,只需配备几种规格的模支承或模架;③有利于提高制品的尺寸精度。

确定模具系列的基本原则:①便于装卸、大批量生产,能满足大生产的要求;②能满足该挤压机上允许生产的所有规格的制品品种用模具的强度要求;③能满足制造工艺的要求。

一般情况下,每台挤压机均用一种或几种规格的外圆直径  $D$  和厚度  $H$  的标准模具,见表 15.3-1。

表 15.3-1 模具外形标准尺寸

挤压力/MN	挤压筒直径/mm	模具外径 $D$ /mm	模具厚度 $H$ /mm	外圆锥角 $\alpha/ (^{\circ})$
7.5	85、95	113、132	16、32	3
12~15	115、130	148	32、50、70	3
20	170、200	198	40、60、80	3
35	270、320、370	230、330	60、80	3
50	300、360、420、500	270、306、360、420	60、80	6
125	420、500、650、900	300、420、570、670、880	60、80、120、150	10
200	650、800、1 100	570、670、900、1 000	80、120、150、200	10、15

## 1.3 设计时应考虑的因素

挤压模具设计包括由设计者本身确定的因素、模具制造者确定的因素和由挤压生产者确定的因素。

### (1) 模具设计者确定的因素

包括挤压机的结构,压型嘴的选择或设计,模具的结构和外形尺寸,模具材料,模孔数和挤压系数,制品的形状、尺寸及允许的公差,模孔的形状、方位和尺寸,模孔的收缩量、变形挠度、定径带阻碍系统的确定,以及挤压时的应力应变状态等。

### (2) 模具制造者确定的因素

包括模具尺寸和形状的精度、定径带和阻碍系统的加工精度、表面粗糙度、热处理硬度、表面渗碳、脱碳及表面硬度变化情况、端面平行度等。

### (3) 挤压生产者确定的因素

包括模具的装配及支承情况,铸锭、模具和挤压筒的加热温度,挤压速度,工艺润滑情况,产品品种及批量,合金及铸锭质量,牵引情况,拉矫力及拉伸量,被挤压合金铸锭规格,产品出模口的冷却情况,工模具的对中性,挤压机的控制与调整,导路及牵引机的设置,输出工作台及矫直机的长度,挤压机的能力和挤压筒的比压,挤压残料长度等。

在设计前,拟订合理的工艺流程和选择最佳

的工艺参数,综合分析影响模具效果的各种因素是合理设计挤压模具的必要和充分条件。

#### 1.4 设计原则与步骤

在充分考虑了影响设计的各种因素之感,应根据制品的类型、工艺方法、设备与模具结构来设计模腔形状和尺寸。但是,在任何情况下,模腔的设计均应遵守下列的原则与步骤。

##### (1) 确定设计模腔参数

设计正确的挤压型材图,拟订合理的挤压工艺,选择适当的挤压筒尺寸、挤压系数和挤压力,决定模孔数。这一步是设计挤压模具的先决条件,可由挤压工艺人员和设计人员根据生产现场的设备条件、工艺规程和大型基本工具的配备情况共同研究决定。

##### (2) 模孔在模具平面上合理布置

将单个或多个模孔合理地分布在模具平面上,使之在保证模具强度的前提下获得最佳金属流动均匀性。单孔棒材、管材和对称良好的型材模,均应将模孔的理论重心置于模具中心,各部分壁厚相差悬殊和对称性很差的制品,应尽量保证模具平面 X 轴和 Y 轴的上下左右的金属量大致相等,但也应考虑金属在挤压筒中流动特点,使薄壁部分或难成形处尽可能接近中心。多孔模的布置主要应考虑模孔数目、模具强度(孔间距及模孔与模具边缘的距离等),制品表面的质量、金属流动的均匀性等问题。一般来说,多孔模应尽量布置在同心圆周上,尽量增大布置的对称性(相对于挤压筒的 X、Y 轴),在保证模具强度的条件下(孔间距应大于 30~50 mm,模孔距模具边缘应大于 25~50 mm),模孔间应尽量紧凑和尽量靠近挤压筒中心(离挤压筒边缘应大于 20~40 mm)。

##### (3) 模孔尺寸的合理计算

计算模孔尺寸时,主要考虑被挤压合金的化学成分,产品的形状、公称尺寸及其允许公差,挤压温度及在此温度下模具材料与被挤压合金的热膨胀系数,产品截面上的几何形状的特点及其在挤压和拉伸矫直时的变化,挤压力的大小及模具的弹性变形情况等因素。对于型材来说,一般用以下公式进行计算

$$A = A_0 + M + (K_y + K_p + K_r) A_0 \quad (15.3-1)$$

式中  $A$  ——模孔公称尺寸 (mm);  
 $A_0$  ——型材截面的公称尺寸 (mm);  
 $M$  ——型材公称尺寸的极限上偏差 (mm);  
 $K_y$  ——对于边缘较长的丁字形、槽形等型材来说,考虑由于拉力作用而使型材部分尺寸减少的系数;  
 $K_p$  ——考虑到拉伸矫直时尺寸缩减的系数;  
 $K_r$  ——型材的热收缩量系数,  $K_r = t\alpha - t_1\alpha_1$ ;  
 $t$ 、 $t_1$  ——分别为坯料和模具的加热温度(°C);  
 $\alpha$ 、 $\alpha_1$  ——分别为挤压温度下被挤压型材和模具材料的线膨胀系数。

对于壁厚差很大的型材,其难于成形的薄壁部分及边缘尖角区应适当加大尺寸;对于宽厚比大的扁宽薄壁型材及壁板型材的模孔,桁条部分的尺寸可按一般型材设计,而腹板厚度的尺寸,除考虑以上公式所列的因素外,尚需考虑模具的弹性变形与塑性变形及整体弯曲、距离挤压筒中心远近等因素。此外,挤压速度、有无牵引装置等对模孔尺寸也有一定的影响。

##### (4) 合理调整金属的流动速度

在理想状态下,制品截面上的每一个质点应以相同的速度流出模孔。尽量采用多孔对称排列。根据型材的形状、各部分壁厚的差异和比周长的不同以及距离挤压筒中心的远近,可设计不等长的定径带。一般来说,型材某处的壁厚越薄,比周长越大,形状越复杂,离挤压筒中心越远,则此处的定径带应越短。当用定径带仍难控制流速时,对于形状特别复杂,壁厚很薄,离中心很远的部分可采用促流角,或采用导料锥来加速金属的流动。相反,对于那样壁厚大得多的部分或离挤压筒很近的地方,就应采用阻碍角进行补充阻碍,以减缓此处的流速。此外,还可以采用工艺平衡孔,工艺余量,或者采用前室模、导流模,改变分流孔的数目、大小、形状和位置来调节金属的流速。

##### (5) 保证足够的模具强度

除了合理布置模孔的位置,选择合适的模具材料,设计合理的模具结构和外形之外,精确地计算挤压力和校核各危险截面的许用强度也是十分重要的。目前计算挤压力的公式很多,但经过修正的 И·Л·别尔林公式仍有工程价值,挤压力

的上限解法也有较好的适用价值,至于模具强度的校核,应根据产品的类型、模具结构等分别进行。一般平面模只需要校核剪切强度和抗弯强度。舌型模和平面分流模则需要校核抗剪、抗弯和抗压强度,舌头和针尖部分还需要考虑抗拉强度等。强度校核时的一个重要的基础问题,是选择合适的强度理论公式和比较精确的许用应力。

### 1.5 技术条件及基本要求

模具结构、形状和尺寸设计计算完毕之后,要对模具的加工质量、使用条件提出基本要求,这些要求主要是:①有适中而均匀的硬度,模具经淬火、回火处理后,其硬度值为48~52HRC(根据模具的尺寸而定,尺寸越大,要求的硬度越低);②有足够高的制造精度,模具的形位公差和尺寸公差应符合图样的要求(一般按负偏差制造),配合尺寸具有良好的互换性;③有足够的表面粗糙度。配合表面应达 $Ra3.2\sim1.6\mu\text{m}$ ,工作带表面达 $Ra1.6\sim0.4\mu\text{m}$ ,表面应进行氮化处理、磷化处理或其它表面强化处理、多元素共渗处理及化学热处理;④有良好的对中性、平行度、直线度和垂直度,配合面的接触率应大于80%;⑤模具无内部缺陷,一般应进行超声波探伤和表面质量检查后才能使用;⑥工作带变化处及模腔分流孔过渡区、焊合腔中的拐接处应圆滑均匀过渡,不得出现棱角。

### 1.6 工作带标注方法

采用视图法标注工作带,即模孔各个部位的工作带集中在一个或几个视图上标注,其标注方法如下:

在模孔两侧标实线,在实线上标引线,引线上标注的数字为工作带长度,在实线两端的尺寸线上标注的数字,为该长度工作带范围,两个不同长度的工作带之间用细实线断开,其间表示过渡形式。过渡形式可以直接在图上标注,也可以在附注上说明(图15.3-4)。特殊形式的工作带可用剖面表示(图15.3-3)。

图15.3-3为用视图法标注工作带实例。图中两端引线上的数字4为工作带长度,两端尺寸线上标注的数字2为工作带范围,即在尺寸2mm范围内,其工作带长度为4mm。在中心部

位两侧实线的引线上的数字8为工作带长度,在尺寸线上标注的数字5为工作带范围,即中心10mm范围内,工作带长度为8mm。

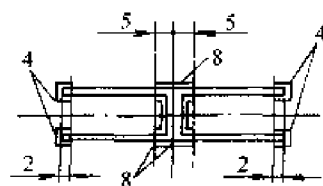


图 15.3-3 模孔工作带

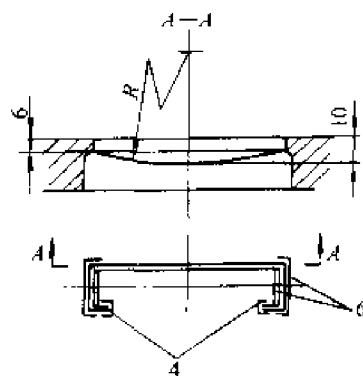


图 15.3-4 模孔工作带剖面图

图15.3-4为用视图法为主,局部用剖面标注工作带的示例。其工作带分布为:在两个末端3mm范围内的工作带长度为4mm,相邻部位工作带长度为6mm,并用45°转接,中心部位最大工作带长度为10mm,两端为6mm,用圆弧 $R$ 转接。

空心型材的模孔是由上模和下模组合而成,因此模孔工作带分别标注在上模和下模上,在这种情况下,其标注方法与实心型材模具略有不同。实心型材模孔工作带是从下模端面标起,而空心型材模孔工作带是从下模焊合沉槽底面( $E$ 面)标起(图15.3-5和图15.3-6)。

在标注工作带的剖面上,为使图形清晰,可以不绘剖面线。

在某些情况下,为减小芯子部位的阻力,将芯子做成平的(图15.3-7)。这时,芯子的平滑表面应该分为两部分,一部分为模桥表面,另一部分为模孔表面(工作带表面),即图15.3-7中 $E$ 面以下为工作带,其表面粗糙度 $Ra0.4\mu\text{m}$ , $E$ 面以上为模桥表面,其表面粗糙度 $Ra0.8\mu\text{m}$ ,其间用细线分开。

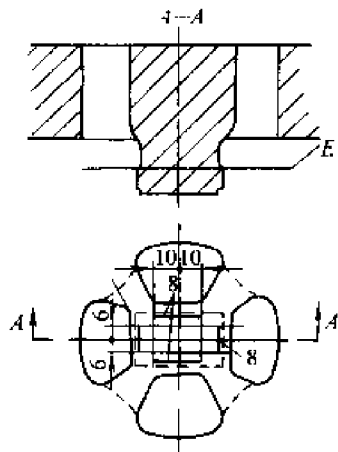


图 15.3-5 模孔工作带(上模)

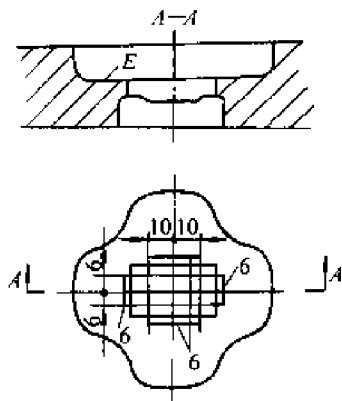


图 15.3-6 模孔工作带(下模)

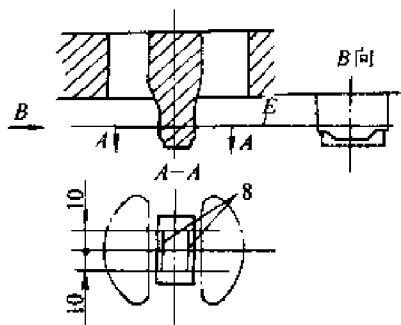


图 15.3-7 模孔工作带示图

不同工作带用  $45^\circ$ 、 $30^\circ$ 、斜面和圆弧转接,其截面见图 15.3-8。前两种过渡形式可在附注上标注,其余两种形可在视图上和截面图上标注。

标注工作带时,其工作带范围和过渡形式应按比例绘制,如图 15.3-9,工作带 10 和 6 用  $45^\circ$  过渡,工作带 10 与 6 之间应留出 4 mm 的位置,如图 15.3-9a 为不合理的标注方法,图 15.3-9b

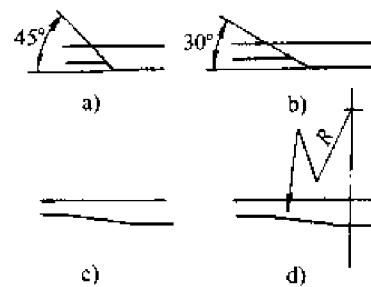


图 15.3-8 工作带的过渡形式(截面图)

a)  $45^\circ$  转接 b)  $30^\circ$  转接  
c) 斜面转接 d) 圆弧转接

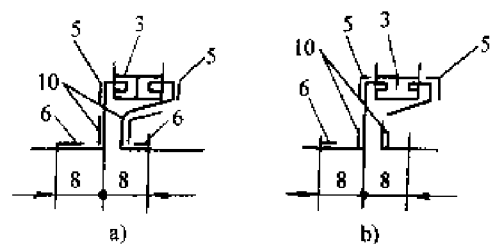


图 15.3-9 模孔工作带标注

a) 不合理 b) 合理

为合理的标注方法。

为了获得规定的工作带长度,需要在工作带下面作出空刀。空刀的形式有直口的、有斜度的和带有支承肋的,其剖面图见图 15.3-10。

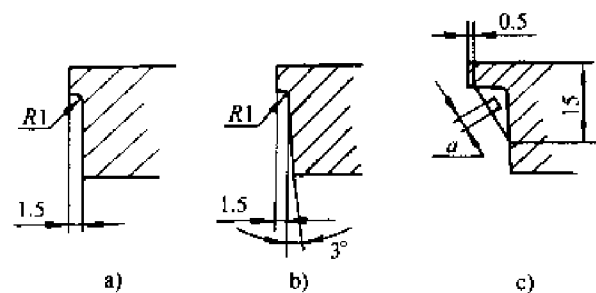


图 15.3-10 模孔工作带空刀

a) 直口 b) 有斜度 c) 有支承肋

在一般情况下空刀尺寸在剖面图上标注,其虚位在视图上不投影,对于细小的空刀,可在视图上用双点划线表示,空刀虚位的形状应该用双点划线绘出,并在双点划线的引线上标明空刀值,如图 15.3-11 中 KA0.5 直口即沿双点划线空刀 0.5 直口,放大图上的“KA0.5 直口”是简化了的空刀,其虚位画双点划线,即保证空刀的最小值为 0.5 mm 直口。

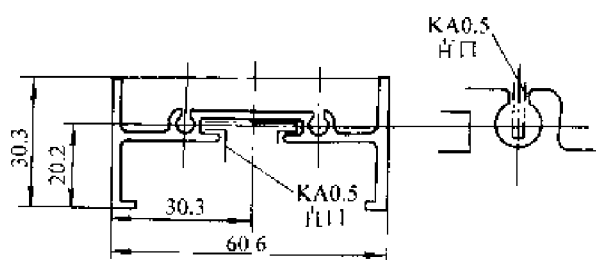


图 15.3-11 工作带空刀示意图

## 2 挤压模具类型及组装形式

### 2.1 挤压模具类型

#### 2.1.1 挤压模具分类

型材挤压模具可按不同的方式来进行分类：  
①按模孔压缩区截面形状可分为平模、锥形模、平锥模、流线形模和双锥模等，如图 15.3-12 所示；  
②按被挤压的制品品种可分为普通实心型材模、壁板模、变截面型材模和空心型材模等；  
③按模孔数目可分为单孔模和多孔模；  
④按挤压方法和工艺特点可分为热挤压模、静液挤压模、反挤压模、连续挤压模、水冷模、宽展模等；  
⑤按模具结构可分为整体模、分瓣模、可卸模、活动模、舌型组合模、平面分流组合模、嵌合模、插架模、前置模、保护模、导流模等；  
⑥按模具外形结构可分为带倒锥体的锥形模、带凸台的圆柱形模、带倒锥的圆柱-锥形模、外形加强模等。

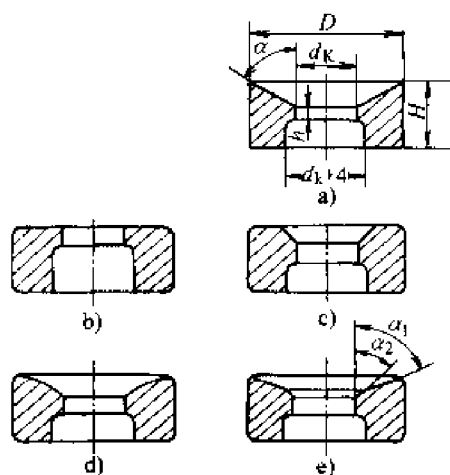


图 15.3-12 挤压模的模孔压缩区截面形状

a) 锥形模 b) 平面模 c) 平锥模  
d) 流线型模 e) 双锥模

上述分类方法是相对的，往往是一种模具同

时具有上述分类的几种特征。此外，一种模具形式又可根据具体的工艺特点、制品形状等因素细分成几个小类，如组合模又可分成多种模具类型。

#### 2.1.2 挤压模具结构

平面模是铝合金挤压中最基本的和使用最广泛的模具结构。大多数棒材和普通实心型材均采用平面模挤压。铝合金管材一般采用锥形模挤压。无缝管材和异形空心型材的内腔形状与尺寸由穿孔针来形成。

随着挤压技术的发展，新设备、新工艺和新产品大量涌现，出现了许多新型结构的模具。下面介绍几种常见模具的结构特点。

##### (1) 桥式模

桥式模又称舌形模，是将模具和针尖做成一个组合体，用实心铸锭生产空心制品的一种模具。根据舌头形式不同，可分为突刀式、半突刀式和隐刀式三种结构。桥式模有许多优点，如制品尺寸精确，壁厚偏差小，内外表面质量好，可用实心锭生产空心制品等。但制品上存在焊缝，挤压力较一般平模挤压时高 20% ~ 25% 左右，挤压残料较长。

##### (2) 平面组合模

它是桥式舌形模的一种，不过把突桥改成了平面桥。它与桥式舌形模相比，具有结构简单、加工容易、生产操作方便和易分离残料等优点。

分流模由分流孔、分流桥、焊合腔、模具、定径带等组成。单孔平面分流模的主要结构形式如图 15.3-13 所示。分流孔的数目有二孔、三孔和四孔或多孔，形状有圆形、腰子形和异形等。

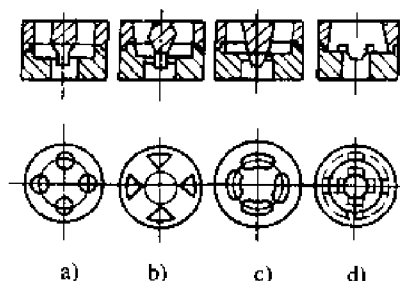


图 15.3-13 单孔平面分流模的结构形式

a) 四个圆分流孔，圆柱形模芯  
b) 四个异形分流孔，双锥体模芯  
c) 四个腰形分流孔，锥形模芯  
d) 四个异形分流孔，插入式模芯

平面分流组合模的模芯主要有圆柱形、双锥体形和锥体形三种。

分流桥按结构可分为固定式和可拆式两种形式。带可拆式分流桥的模具又称之为叉架式分流模，用这种形式的模具可同时挤压多根空心制品，如图 15.3-14 所示。分流桥的截面最好做成水滴形，但水滴形不易加工，故常采用矩形截面加倒角的形式。

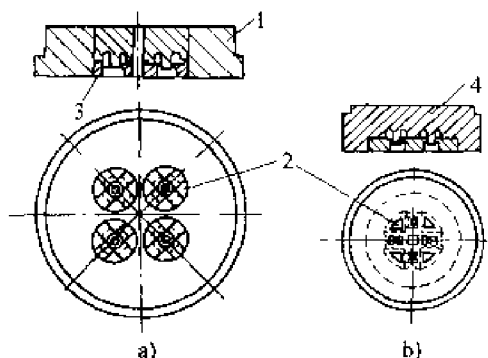


图 15.3-14 固定式分流模和叉架式分流模

a) 叉架式分流模 b) 固定式分流模

1—模套 2—分流孔 3—焊合腔 4—上模

### (3) 多孔空心壁板模

随着模具结构的改进，先后出现了用舌形模、叉架模和平面分流组合模挤压多孔空心壁板的方法，目前已用此法挤压出 30 孔的宽度为 1 m 左右的软铝合金空心壁板。

### (4) 前室模

前室模又称导流模。其实质是在型材模前放一个导料模，为与型材外形相似的异形，或为其边长与型材最大外形尺寸相当的矩形，见图 15.3-15。铸锭锻粗后先通过导流模产生预变形，金属进行第一次分配形成与型材相似的坯料，然后再进行第二次变形，从而挤出各种截面的型材。采用前室模不仅可增大坯料与型材的几何相似性，便于控制金属流速，使壁厚很薄、形状复杂、难度大的型材易成形，而且能挤压外接圆尺寸较大的型材，减少制品的扭拧和弯曲变形，大大提高成品率和模具寿命。特别是对于舌比大于 3 的散热片型材及其它形状异常复杂的型材来说，用普通平面模几乎无法挤压，而采用前室模可使模具寿命提高几十倍。

### (5) 宽展模

宽展模属于前室模的一种，用它可部分地代

替扁挤压筒挤压扁而宽的薄壁型材、实心与空心壁板。其优点是可挤压比圆筒直径宽 30% 左右的壁板。其结构示意图见图 15.3-16。其主要结构要素是宽展量、宽展变形率、宽展角、内腔及外形尺寸等。为便于金属流动和充分填充，减少挤压力，保证足够的强度，压挤系数应小于 30，宽展率为 30% 左右，宽展角以 30° 左右为宜。

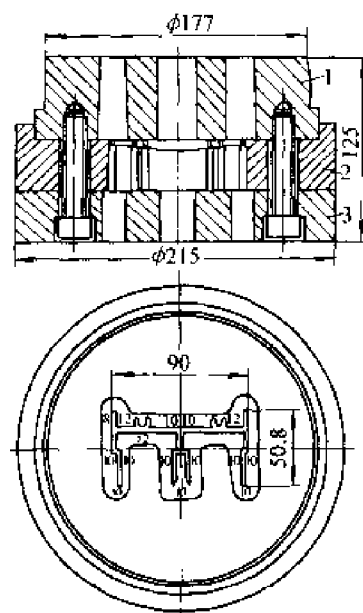


图 15.3-15 导流模结构

1—导流模 2—型材模 3—模垫

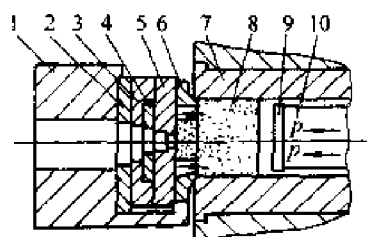


图 15.3-16 宽展模挤压原理

1—压型嘴 2—后环 3—中环  
4—前环 5—型材模 6—宽展模  
7—挤压筒 8—铸锭 9—挤压垫  
10—挤压轴

### (6) 保护模

保护模的结构是根据平面分流模的原理，按型材的截面形状将铸锭分成若干股，然后在模桥下重新焊合为整体，再通过平面型材模挤出各种型材。由于保护模承担了大部分挤压力，保护了型材模的危险截面，故使后者的寿命大大提高，见图 15.3-17。

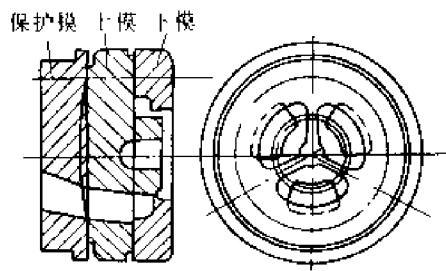


图 15.3-17 深槽型材保护模

## (7) 变截面型材模

目前国内仍大量采用两套可分模生产变截面型材。型材和过渡区设计成一套模具，大头部分设计成一套模具。两套模具按一定的规则分成可拆的若干瓣，见图 15.3-18。分开面的位置应便于拆开和安装，在保证制品精度的同时又不损伤型材表面。

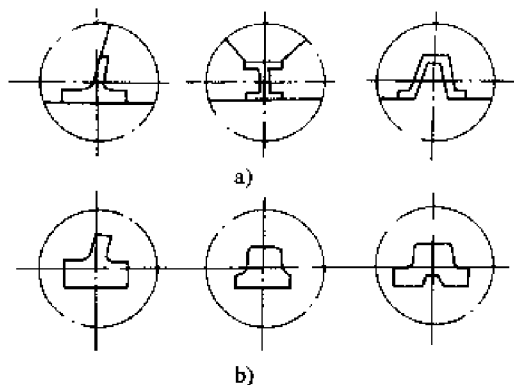


图 15.3-18 变断面型材模分模面示意图

a) 型材模 b) 尾端模

## (8) 水冷模

向模中通水冷却以降低变形区温度的模具称水冷模，结构主要有循环式和非循环式两种，见图 15.3-19。最近又研制成功了一种能控制自如

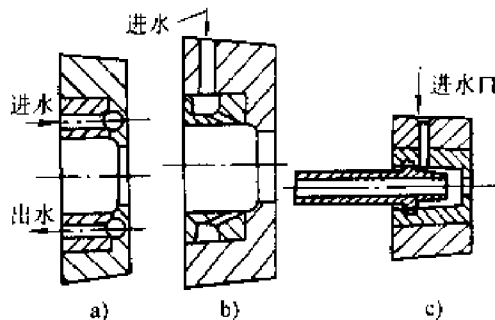


图 15.3-19 水冷模结构形式

a) 循环式 b) 非循环式 c) 水封式

的环状喷水式单水冷模。为了提高冷却强度，还开发成功了液氮冷却模。

## (9) 其它结构挤压模

近年来研制成功了多种特殊结构的专用模具，常见的有螺旋管挤压模、锥体出口薄模、连续挤压模、冷挤模、异形管材穿孔挤压模等。

## 2.2 挤压模具组装方式

模具组件一般包括模具、模垫以及固定它们的模支承或模架，在挤压空心制品时，模具组件还包括针尖、针后端、芯头等。

在带压型嘴的挤压机上，压型嘴与模支承用锁键连接。这种结构的挤压机在模支承内或直接在压型嘴内固定模具，其方式主要有三种：①将模具装配在带倒锥体的模支承内，锥体母线的倾斜度为  $3^\circ \sim 10^\circ$ 。这种固定方法能保证模具与模垫的牢固结构，增大模具端部的支承面，可简化模具装卸的工作量。模具和模垫用销子固定，并用制动销将模具固定在模支承上。②将模具装配在带环形槽的模支承内。直径大于挤压筒工作内套内孔直径的模具宜用这种方法固定。③将模具装配在带正锥体的模支承内，采用此种方法固定需制造专用工具，因此，只有在挤压大批量截面形状复杂的型材时，才使用这种组装方式。

在不带压型嘴的挤压机上的安装矩形或方形截面的压环，将模具和模垫装入压环内，再将压环安装在横向移动模架或旋转式模架内，利用 T 形锁键连接压环与模架。

挤压模具组装形式见图 15.3-20 至图 15.3-22。

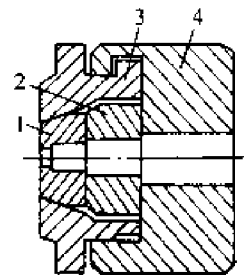


图 15.3-20 压型嘴与模支承的组装方式

1—模具 2—模垫 3—模支承 4—压型嘴

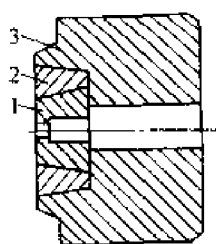


图 15.3-21 锥形压环在压型嘴内的装配方式  
1—模具 2—锥形压环 3—压型嘴

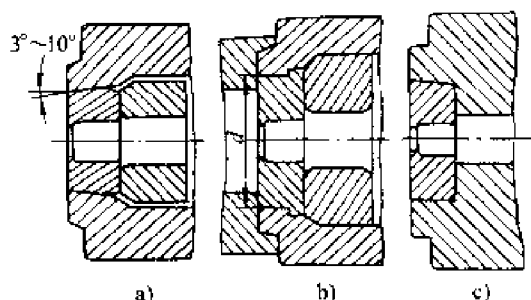


图 15.3-22 挤压模具的一般组装方式  
a) 装配在倒锥体的模支承内  
b) 装配在圆柱形的模支承内  
c) 装配在正锥体的模支承内

### 3 实心铝型材挤压模具设计

#### 3.1 实心模结构设计

挤压铝型材的模具有平模和锥模两种（见图 15.3-23）。其典型结构要素设计如下。

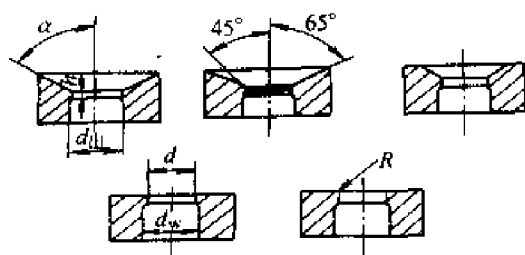


图 15.3-23 平模和锥模

##### 3.1.1 模角

平模的模角  $\alpha = 90^\circ$ 。采用平模挤压时，由于形成较大的死区，故可获得优良的制品表面。但若死区发生断裂，将使制品表面上出现裂纹、起皮、分层等缺陷。此外，平模的挤压力将较锥模高 10% 左右。如挤压温度高，变形抗力大的合金时，模孔往往会因模面下塌面变小。

锥模模角  $\alpha$  一般取  $55^\circ \sim 65^\circ$ 。

##### 3.1.2 工作带

工作带主要作用是控制金属流动，稳定制品尺寸和保证制品表面质量。工作带过短，模子易磨损，使制品尺寸超差，但短工作带可以提高挤压速度和制品的表面质量，减小挤压力。工作带过长则不仅增加挤压力，对薄壁型材易产生堵模现象，且容易在带上粘结金属，使制品表面出现麻点，划伤等缺陷。工作带设计不合理或加工不准确时，挤压制品还会出现波浪、扭拧、弯曲和长短不齐等缺陷。

确定工作带长度的一般原则：

1) 工作带的最小长度，应能保证稳定挤压制品截面尺寸，并具有足够的耐磨性。一般工作带的最小长度为  $1.5 \sim 3 \text{ mm}$ 。但在个别情况下（如特别难流动的多孔中间部位）也可取  $0.6 \sim 1 \text{ mm}$ 。

2) 工作带的最大长度，应根据挤压时金属与工作带间最大有效接触长度来确定。对铝合金而言，工作带最大长度取  $10 \sim 16 \text{ mm}$ 。

3) 对于角形、丁字形、槽形、工字形等等型材，除在各端部受三面摩擦阻力减短工作带外，其它部位，如处在同心圆上的模孔，工作带可以相同。

4) 截面形状复杂且壁厚不等的型材，需根据壁厚的变化设计不等长的工作带，在变化悬殊处要采取斜过渡，以免在制品上出棱。

##### 3.1.3 模孔尺寸

###### (1) 棒材模孔尺寸

$$A = A_0 + KA_0 \quad (15.3-2)$$

式中  $A_0$  ——棒材公称尺寸 (mm) (圆棒为直径、方棒为边长、六角棒为内切圆直径)；

$K$  ——裕量系数，一般取  $0.007 \sim 0.012$ ，硬合金取下限，软合金取上限。

###### (2) 型材模孔尺寸

###### 1) 型材模孔尺寸

$$A = A_0 + KA_0 + \Delta \quad (15.3-3)$$

式中  $A_0$  ——型材的公称尺寸 (mm)；

$K$  ——裕量系数，取法同式 (15.3-2)；

$\Delta$  ——型材尺寸的极限上偏差 (mm)。

###### 2) 型材模孔的厚向尺寸

$$B = B_0 + \Delta \quad (15.3-4)$$

式中  $B_0$  ——型材壁厚的名义尺寸 (mm)；





## 3.1.7 阻碍角

用工作带的长度来调整金属的流速有一定的限度。在挤压不等厚的型材时,如果工作带的计算长度超过极限值,就需要采用阻碍角来控制,即在模孔入口处做出一小斜面(见图15.3-26),以增加金属在此处的流动阻力。一般 $\alpha$ 取 $3^\circ \sim 7^\circ$ 。若大于 $15^\circ$ 时,因接近金属的自然流动角,不但不起阻碍作用,反而加快了金属的流动速度。阻碍高度 $h$ 一般不超过25 mm。

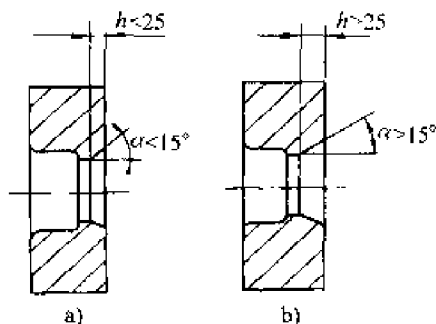


图15.3-26 阻碍角设计

a) 合理 b) 不良

## 3.1.8 促流角与促流面

对流动阻力较大的壁薄部分做出一个角度为 $\beta$ 的斜面(图15.3-27),以促使金属向壁薄部分的流动,从而使型材各部分金属流动速度趋于均匀。

对于小尺寸的不等壁厚型材,也可在壁薄部位做出这种斜面。

一般,促流角 $\beta$ 取 $3^\circ \sim 10^\circ$ 。

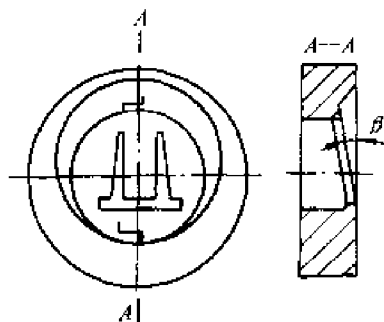


图15.3-27 促流角与促流面

## 3.2 棒材模设计

棒材(圆棒、方棒、六角棒等)挤压模都采用平模,分为单孔模和多孔模两种。其中单孔模很简单,令棒材中心与模子中心重合即可。这里

只介绍多孔模设计。

## 3.2.1 模孔数目的选择

多孔棒材模的模孔数一般为2、3、4、6、8、12等,最多可达20个孔。采用多孔模的目的,一是为了提高挤压机的生产率,减小挤压比,二是为了降低挤压力,扩大棒材的生产工艺。但孔数太多,易出现长短不齐,或挤压制品易扭绞在一起并相互摩擦制品。有时一孔或两孔不合格,便增加了修模概率。

模孔数目的选择依据以下4点。

(1) 合理的挤压系数

一般,模孔数可据下式确定

$$n = \frac{A_1}{\lambda A_0} \quad (15.3-7)$$

式中  $n$  ——模孔数目;

$A_1$  ——挤压筒面积( $\text{mm}^2$ );

$A_0$  ——单孔制品的截面积( $\text{mm}^2$ );

$\lambda$  ——平均挤压系数。

$\lambda$ 可根据挤压机能力,挤压机受料台和冷床的长度,挤压筒的规格和对制品力学与组织性能的要求以及被挤合金的变形抗力等来确定。一般可取8~40。对挤纯铝和软合金棒可达100以上。小挤压机取上限,大挤压机取下限。

(2) 足够的模子强度

模孔离模子外圆的距离和模孔间的距离都应保持一定的数值。对于49MN以下的挤压机,这个距离取20~50 mm,对于大型挤压机应加大到50~80 mm。

(3) 良好的制品表面质量

为防止铸锭表面上的脏物流入挤压制品中,应使模子与挤压筒内孔的边缘保持一个最小的距离,一般取挤压筒直径的10%~30%。此外,为防止制品表面擦伤和长短不齐等,模孔数目也不宜过多。

(4) 尽可能均匀的金属流动

在实际生产中,棒材模模孔数目一般为10~12个以下,而且布置在同一同心圆上均匀排列。

## 3.2.2 模孔位置的选择

采用多孔模挤压时,应将多孔模模孔的理论重心均匀分布距模子中心和挤压筒边缘有合适距离的同心圆周上,同心圆直径 $D_T$ 与挤压筒直径 $D_1$ 的关系由以下经验公式确定

$$D_1 = \frac{D_1}{a - 0.1(n - 2)} \quad (15.3-8)$$

式中  $D_1$  ——多孔模模孔理论重心的同心圆直径 (mm);

$D_1$  ——挤压筒直径 (mm);

$n$  ——模孔数 ( $>2$ );

$a$  ——经验系数, 一般取 2.5~2.8,  $n$  值和  $D_1$  大时取上限。

如果模孔排列不当也将产生金属流动不均现象, 使挤压制品长短不齐, 增加了几何废料量。图 15.3-28 给出了模孔大小和排列位置对制品长度的影响。

在多孔模设计时, 还要注意不要把模孔安置得过分靠近模子边缘, 因为这不但降低了模子的强度, 还会导致死区被挤出, 恶化制品表面质量, 出现起皮、分层等缺陷。在挤压硬合金时, 模孔过于靠近模子外缘, 除会产生上述缺陷外, 还会因内侧金属供给充足而流动速度快, 从而造成制品外侧出现裂纹。当模孔太靠近中心时, 则在制品内侧出现裂纹。

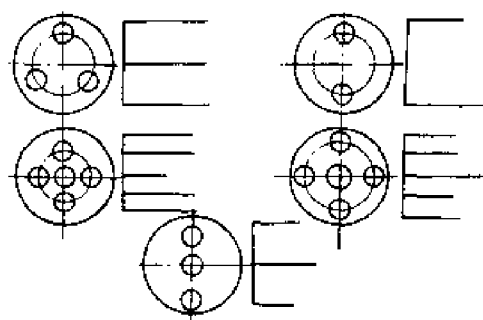


图 15.3-28 模孔大小和排列位置对制品长度的影响

### 3.2.3 工作带长度

一般取 3~8 mm, 最大不超过 10 mm。也可按表 15.3-3。

表 15.3-3 工作带长度推荐值

棒料直径/mm	模具工作带长度/mm
≤40	2~3
>40~70	4
>70~120	5
>120~200	6

根据经验, 在多孔挤压时, 模孔越多, 工作带就应加长一些, 以利修模和减少由于模孔工作带制造误差所产生的流速不均。

棒材模的工作条件与受力状态要比其它模具好, 其强度问题基本上已在模具外形尺寸标准化、系列化时做了安全的考虑。但是对于多孔模, 特别是异形棒材多孔模, 仍然需要对模孔间和模孔与模子边缘间的危险截面的强度进行校核。配有专用模垫和模后座时, 只需校核抗压强度。使用通用的大径模垫和模后座时, 还要计算抗剪和抗弯强度。

## 3.3 实心型材模设计

在挤压型材, 特别是截面复杂的型材时, 金属流动不均匀现象十分严重。这是由于大多数型材截面没有对称性, 型材与铸锭的形状也缺乏相似性。型材各部位的壁厚不同。壁薄处的比表面 (单位体积所具有的表面积) 大于壁厚处的比表面, 故金属冷却得快, 变形抗力和摩擦力皆大, 加之壁薄处金属变形程度大于壁厚处, 所以壁薄处的金属流动慢而壁厚处则快。如果模子设计中不采取相应措施, 将使制品产生很大的附加应力。出现拉应力时, 会产生裂纹, 出现压应力时则会使制品壁薄部分出现波浪、制品出模后发生翘曲, 扭拧或充不满等现象。所以尽量减少金属流动的不均匀性, 是考虑型材模具设计的重要出发点。

### 3.3.1 模孔布置

在设计单孔模时, 对于横截面和两个坐标轴相对称 (或近似对称) 的型材, 其合理的模孔布置应使型材截面的重心和模子的几何中心相重合。在挤压模截面只对一坐标轴相对称的型材时, 如果型材等壁厚或壁厚差不大, 模孔的配置应使型材的对称轴通过模子的一个坐标轴, 而使型材截面重心位于另一坐标轴上。对于各部分壁厚不等的型材和不对称的型材, 必须将型材的重心相对于模子的中心作一定距离的移动。应尽可能使壁厚较薄的部位靠近模子中心, 使各部分金属变形时的单位静压力尽量相等。

对于壁厚差虽然不大, 但截面形状十分复杂的型材, 应将截面外接圆的中心布置在模子中心线上。对于挤压系数很大, 又不能采用多孔挤

压,挤压有困难或流动很不均匀的某些型材,可采用平衡模孔或增加工艺余料的方法,或用其它调整流速的措施来改善挤压条件,为防止由于自重而产生的扭拧和弯曲,应将型材大面朝下,以增加型材的稳定性,见图 15.3-29 所示。

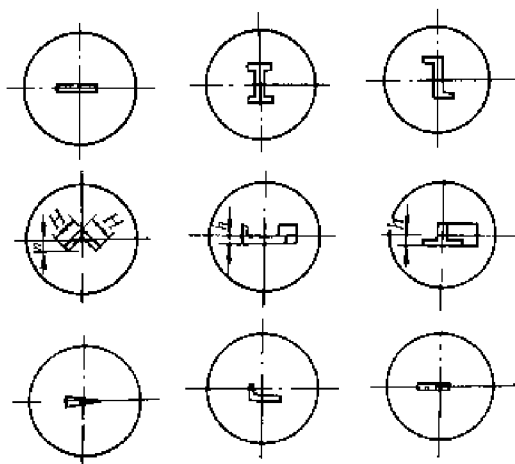


图 15.3-29 单根型材模孔的布置

在生产非对称复杂型材时,为均衡金属流速,有时也采用多个模孔挤压,如图 15.3-30 所示。多孔型材模模孔数目的选择原则与多孔棒材模的原则基本相同。

模孔不宜过多,一般取 2、3、4、6 个模孔。对于小而截面又简单的型材的模孔数最多也不超过 12 个。

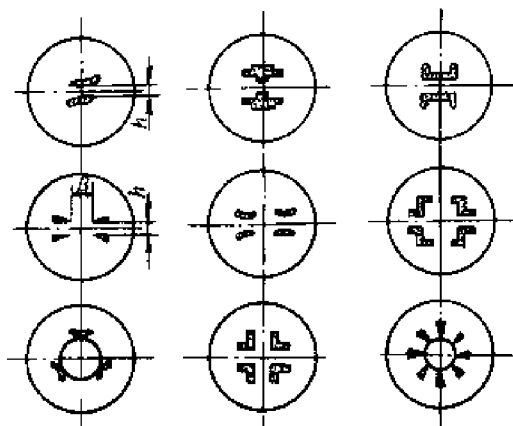


图 15.3-30 多孔型材模模孔的排列

多孔型材模的布置必须遵循中心对称的原则。而可以不遵循轴对称原则。

为了保证型材的力学性能,挤压系数  $\lambda$  应大于 12,但对于难挤压合金,不应大于 55,而对于纯铝和软合金,  $\lambda$  可达 120 以上。

为了保证模子强度,多孔型材模各模孔间应保持一定的距离。在实际中对 78.4MN 以上的大型挤压机取 60 mm 以上;对 49MN 左右的挤压机取 35~50 mm;对 19.6MN 以下的挤压机取 20~30 mm。

为了保证型材质量,还必须考虑模孔边缘与挤压筒之间的合理距离。

对有装饰面的型材,最好不要使装饰面与出料台相接触。

### 3.3.2 模孔设计

型材模孔尺寸  $A$  一般按式 (15.3-1) 计算,该式中  $K_Y$ 、 $K_P$  之值见表 15.3-4。

表 15.3-4  $K_Y$ 、 $K_P$  数值表

型材截面尺寸 /mm	$K_Y$	$K_P$
1~3	0.04~0.03	0.03~0.02
4~20	0.02~0.01	0.02~0.01
21~40	0.006~0.007	0.007~0.008
41~60	0.005~0.006	0.0065~0.0075
61~80	0.004~0.005	0.006~0.007
81~120	0.003~0.004	0.005~0.006
121~200	0.002~0.003	0.0035~0.0045
>200	0.001~0.0015	0.002~0.003

设计模孔的壁厚尺寸时,对于军工和硬铝合金产品,一般都要加上极限上偏差以保证强度。有时还要加上收缩量。对建筑铝型材,用户一般希望采用下限偏差,壁厚一般较小(一般都为 2 mm 以下),设计时可采用型材的名义尺寸。

有时由于受型材截面形状的影响,挤出的制品壁厚往往小于所要求的尺寸。因此,在设计型材模壁厚尺寸时,必须加上一定的修正量,该修正量为型材截面尺寸乘以壁厚系数。对于一般形状的型材,壁厚系数取 0.002。对于 H 形、角形和深槽形型材,还应加大修正量。如图 15.3-31 所示的 H 形型材和深槽形型材,其模孔壁厚尺寸应按下式确定:

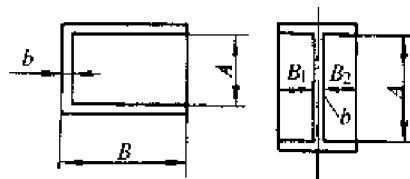


图 15.3-31 模孔壁厚尺寸修正

$$\left. \begin{aligned} b' &= b + 0.002A + BK' \\ b' &= b + 0.002A + (B_1 + B_2)K' \end{aligned} \right\} \quad (15.3-9)$$

式中  $b'$ ——对应于  $b$  处的模孔尺寸;

$K'$ ——壁厚系数, 当使用专用支承垫时,  
 $K'=0.002$ , 当使用非专用支承垫  
 时,  $K'=0.003$ ;

$A$ 、 $B$ 、 $B_1$ 、 $B_2$ ——见图 15.3-31。

挤压大角材, 槽形型材, 单孔或双孔带板  
 时, 其模孔的设计尺寸要做相应的调整。如图  
 15.3-32 所示。

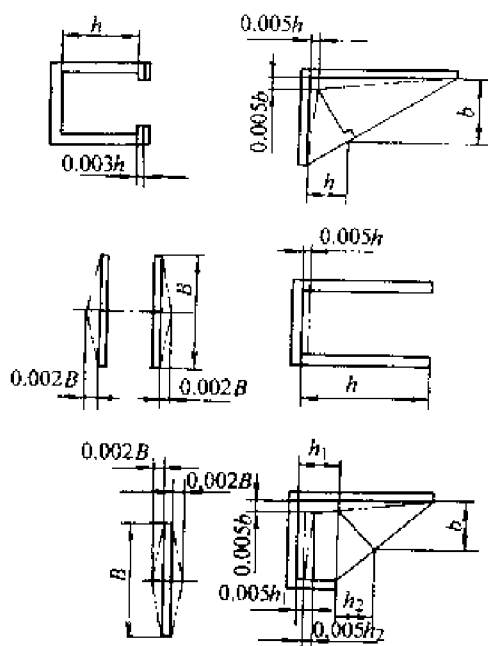


图 15.3-32 特殊型材、型孔尺寸修正量

对图 a 所示的型材, 由于模具变形而使拐角  
 处模孔变小, 在原来模孔正常设计的基础上再加  
 上  $0.005b$  和  $0.005h$  的修正量。这样挤出来的  
 型材才不至于尺寸偏小。

对图 b 所示的型材, 在槽底处再加上  $0.005$   
 $h$ , 来弥补舌头下弯变形而减小的模孔尺寸。

对图 c 所示的型材, 可以看成是一个角形和  
 一槽形的组合, 除了正常的设计外, 在槽底还要  
 加上因角度变形模孔变小的量  $0.005h_2$  和悬臂变  
 形而减小的量  $0.005h_1$ , 立边同样要加上  $0.005b$   
 的余量。

对图 d 所示的型材, 在  $A$ 、 $B$  处要减去因悬臂  
 下塌, 此处模孔增大的量。所以, 此处模孔要比正  
 常设计减小  $0.003h$ , 但槽底还要增大模孔  $0.005h$ 。

对图 e 所示的型材, 在挤压单孔带板时, 常  
 因型孔中间下塌而使型孔变小。因此, 在模孔中  
 间要加上  $0.002B$  (两侧都加)。若生产双孔带  
 板, 如图 f 所示, 则只需在一面 (外侧) 加上  
 $0.002B$  就可以了。

在挤压带燕尾槽和螺纹孔的型材时 (见图  
 15.3-33), 常因模具加工时, 线切割的钼丝或铜  
 丝走不到尖点 (因钼丝、铜丝是圆形) 或留有加  
 工余量, 在精修模孔时, 很难去掉, 所以, 此处  
 的模孔尺寸往往偏大, 在设计时要尽量采用名义  
 尺寸或按极限下偏差设计。

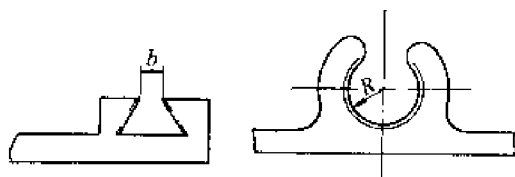


图 15.3-33 燕尾槽和螺纹孔尺寸修正

对于型材的圆角和圆弧, 如果无偏差要求,  
 则模孔可按名义尺寸设计 (如图 15.3-34a、b、c  
 中的  $R$ ), 如有公差要求, 其模孔尺寸可按公式  
 计算, 并据经验加以修正。

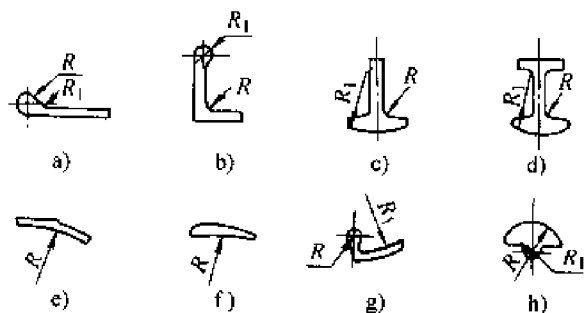


图 15.3-34 带有圆角、圆弧的型材

对带有角度的型材 (见图 15.3-35), 其模孔  
 尺寸与型材名义尺寸相同, 但对易扩、并口的槽  
 形型材, 在设计时应将其角度相应增大或减小

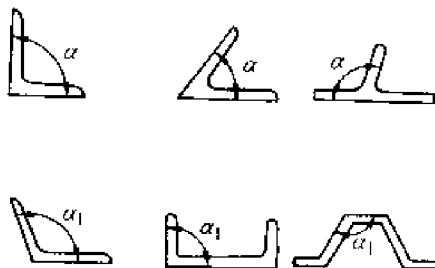


图 15.3-35 带角度的型材

1'~2°, 对于角材, 如果为 90°, 其角度可按名义尺寸设计。若型材角度大于 90°, 可往小设计 1'~2'。因在型材拉伸时, 其角度越拉越大; 反之, 要型材角度小于 90°, 在设计时要加大 1'~2'。因在拉伸时, 角度越拉越小。

如果采用辊式矫直机矫形, 型材壁厚  $\leq 2.5$  mm 时, 可按增大角度设计。

### 3.3.3 结构要素设计

#### (1) 工作带的几何形状与尺寸

计算型材模孔工作带长度的方法有许多种。对于截面形状复杂、壁厚不等的型材 (图 15.3-36) 根据补充应力法可得出如下公式:

$$h_{F_2} = \frac{h_{F_1} L_{F_1} A_{F_2}}{L_{F_2} A_{F_1}} \text{ 或 } \frac{h_{F_1}}{h_{F_2}} = \frac{A_{F_1}}{A_{F_2}} = \frac{L_{F_2}}{L_{F_1}} \quad (15.3-10)$$

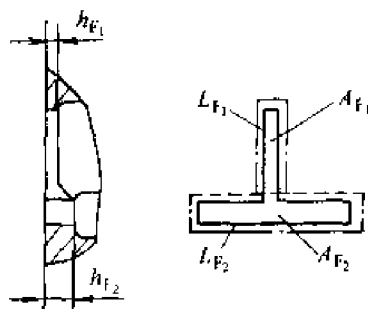


图 15.3-36 不等壁厚的 T 形型材

式中  $h_{F_1}$ 、 $A_{F_1}$ 、 $L_{F_1}$ ——型材某截面  $F_1$  处的模孔工作带长度 (mm)、面积 ( $\text{mm}^2$ ) 和周长 (mm);

$h_{F_2}$ 、 $A_{F_2}$ 、 $L_{F_2}$ ——型材某截面  $F_2$  处的模孔工作带长度 (mm)、面积 ( $\text{mm}^2$ ) 和周长 (mm)。

当型材的宽厚比小于 30, 或者当型材的最大宽度小于挤压筒直径的  $\frac{1}{3}$  时, 使用上述公式可获得比较理想的结果。当宽厚比大于 30, 或型材最大宽度大于挤压筒直径的  $\frac{1}{3}$  时, 计算模孔工作带的长度, 还要考虑区段距挤压筒中心的距离。即模孔中心区的工作带应加长, 以增大阻碍。

具体计算型材各区段的模孔工作带长度时, 应先给定一个区段上的工作带长度值作为计算参考值 (一般给定型材壁厚最薄区段上的最小工作带长度), 可根据表 15.3-5 所列挤压机能力, 同时考虑型材规格来确定。

工作带的最大长度, 按挤压时金属与模孔工作带之间的最大有效接触长度来确定。一般不应超过 20 mm, 常用 8~15 mm。

表 15.3-5 几种规格挤压机最小工作带长度

挤压机能力/MN	122.5	49	34.3	15.97~19.6	6.17~12.3
工作带最小长度/mm	5~10	4~8	3~6	2.5~5	1.5~3
模孔空刀尺寸/mm	3	2.5	2	1.5~2	0.5~1.5

#### (2) 阻碍角

模孔的入口锥角直接影响挤压力的大小。如图 15.3-37 所示, 在平模模口处制作小于 12° 的锥角就能起到阻碍金属流动的作用。一般, 阻碍角在 3°~12° 之间。

有时, 阻碍角也可按下式求得:

$$\tan \alpha = \frac{3\sqrt{3}\sigma_m - 2f\sigma_{ST}}{6\sigma_{ST}} \quad (15.3-11)$$

式中  $\alpha$ ——阻碍角;

$\sigma_m$ ——补充应力 (MPa);

$f$ ——金属与模孔工作带之间的摩擦系数;

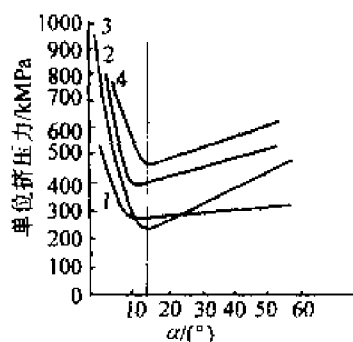


图 15.3-37 单位挤压力与模孔入口锥角  $\alpha$  的关系

$\sigma_{ST}$ ——在挤压温度下,金属质点流经模孔工作带时的真实变形应力(MPa)。

### (3) 促流角

图 15.3-38 给出了几个实例,说明了带有促流角的模子对均衡金属流速的意义。

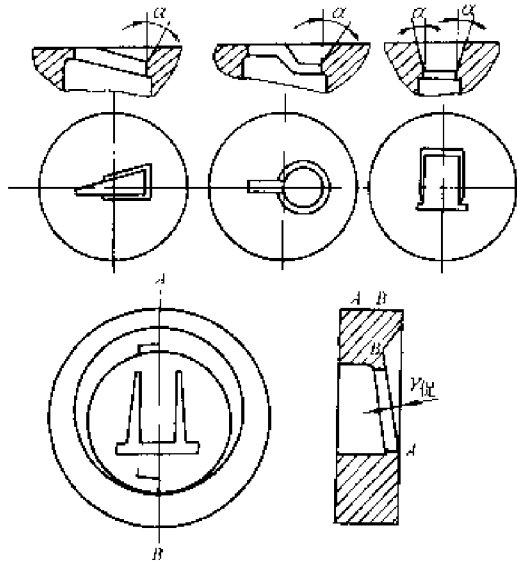


图 15.3-38 带有促流角的模子

- a) 型材边缘的薄壁处环形促流
- b) 壁厚比大的 T 形型材促流角和阻碍角
- c) 薄壁缘板长的型材模子局部注兜
- d) 薄壁缘板短的型材局部注兜

### (4) 平衡孔和工艺余量

在挤压形状特别复杂、对称性很差或各部分壁厚差很大而在模面上只能布置一个模孔的型材时,可以在模子平面适当部位附加一个或多个平衡孔(图 15.3-39),或者以工艺余量的形式在型材的适当位置附加肋条或增大壁厚。然后用机加工法或化铣法除去。

### (5) 多孔对称布置

主要用来解决形状极其复杂、对称性极差、截面较小的型材流速不均问题。一般都采用中心对称的原则。

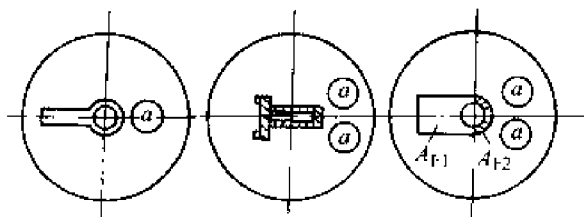


图 15.3-39 带平衡孔的模子

### 3.3.4 强度校核

在设计型材模时,模子强度也是一个非常重要的问题,特别是带有悬臂部分的槽形型材或双孔扁条型材,必须对模子进行抗弯曲强度校核。图 15.3-40 是一半空心型材,型材所包围的面积  $A$  与型材开口宽度  $W$  的平方之比,称为舌比,用  $R$  表示,即

$$R = \frac{A}{W^2} \quad (15.3-12)$$

$W$  与  $R$  之间应保持在表 15.3-6 所给出的数值范围内,否则  $R$  过大,舌根部不能承受挤压时的压力而损坏。

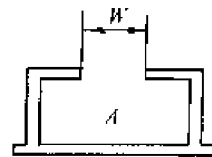


图 15.3-40 半空心型材

表 15.3-6 舌比  $R$  数值

$W/\text{mm}$	1.0~1.5	1.6~3.1	3.2~6.3	6.4~12.6	12.7 以上
舌比 $R$	2	3	4	5	6

模子发生变形,即使是弹性挠曲,也会改变模孔的形状,以致使工作带的作用减弱或消失。为了增加模子强度,节省优质耐热合金钢材,常采用模垫、支承垫来增加模子的强度。但在开口较小,无法用模垫和支承垫来增加强度时,就应考虑设计保护模、封闭式分流模或整体分流模等方法去保护舌部。

关于模子的强度校核,可据材料力学给出的一般方法进行。但在实际生产中确定模具厚度系列时,对各种产品所需的模具厚度值都应作充分的考虑,使其厚度一般都大于计算的最小厚度。否则,即可利用专用模垫或模后座来增加模具的总厚度。此时,勿需再进行抗拉、抗剪之类的补充强度计算。

## 3.4 导流模设计

导流模又叫导向模。其实质是在型材模前放一个导料模,使金属形成与型材外形相似的坯料,然后再进行第二次变形,挤出各种截面的型材。采用导流模不仅可增大坯料与型材的几何相

似性,便于控制金属流速,使壁薄、形状复杂、挤压难度大的型材易于成型,而且能挤压外接圆尺寸较大的型材,减少产品的扭拧和弯曲变形,大大提高成品率和模具寿命。特别是对于舌比大于3的散热片型材及其它形状异常复杂的型材来说,用普通平面模几乎无法挤压,而采用导流模其使用寿命可提高几十倍。

在挤压宽厚比较大的型材时,若没有扁挤压筒,则生产比较困难,但如果设计一个倒锥体导流模就可代替扁挤压筒。尤其在挤压扁而宽的薄壁型材、实心与空心壁板时,可挤压比圆筒直径宽30%左右的壁板,宽展角以30°左右为宜。

由于导流模具有对金属充填比例进行预分配的功能,所以在进行导流孔设计时,应同时进行金属充填平衡计算,计算基点为塑性变形抗力的平衡,即在模具型孔同一外接圆上各点处的变形力 $F$ 值应基本趋于一个平衡常数 $F_1$ ,即

$$F = F_1 = F_0 \ln \lambda_1 / A_0$$

$$\lambda_1 = A_0 / S_0 \quad (15.3-13)$$

式中  $F_0$  ——作用在导流孔内金属的变形力(MPa);

$A_0$  ——局部导流孔面积(mm<sup>2</sup>);

$S_0$  ——局部型孔截面积(mm<sup>2</sup>)。

从式中可以看出,常数 $F_1$ 与变形力成正比,与导流孔面积成反比。所以,在挤压变形力固定的情况下,应以增大导流孔截面积的措施去调整局部变形抗力值。

#### (1) 结构设计

1) 外形尺寸设计 单体导流模外圆直径一般和模具的外圆直径相同。由于它安装在模具的前面,要和模具支承相配合。因此,将导流模的外形设计成带倒锥体的锥形或带凸台的圆柱形。

单体导流模的厚度。一般取15~30 mm,最常采用的是20 mm。如果设计太薄,在剪切残料时,会使导流孔的金属全部或部分地被切掉,或带下一部分金属。这样,在导流孔上留下空穴,在挤压下一个制品时,会在制品表面出现气孔和起皮等缺陷。若导流孔太厚,又会增加金属的流动阻力,也浪费昂贵的工具钢材。因此,有时把导流孔设计成倒锥形(即反向喇叭形),锥角以5°为宜。

在选择导流模的厚度时,还必须考虑模具的标准化和系列化。

复合导流模,就是把导流模和模具作成一体。复合导流模一般适用外形比较简单的型孔,在模具的入口平面挖下去10~15 mm的小坑,比型孔大,且与型孔相似,这种设计虽然简化了模具结构,但给模具制造和修模都带来一定的困难,因此,很少被采用。

2) 导流孔尺寸的选择 由于计算麻烦,一般都是根据经验来设计导流模。

根据型材截面,尽量选择与模孔相近似的导流孔。若型材是等壁厚的,导流孔通常设计成比型孔大10~20 mm,然后再根据各部位离挤压筒中心的远近作适当的调整。一般是距挤压筒中心远的部位要加大3~5 mm,若型材不是等壁厚的,还要考虑将薄壁处的导流孔再加大一些来促使该处的金属流动。

#### (2) 强度校核

导流模的强度校核基本上与模具的强度校核相同,由于它放置在模芯的前面,后面有模具和模垫支承,一般是比较安全的。

### 3.5 保护模设计

保护模,是在挤压舌比较大(大于3)的型材时,为了改善模具悬臂部分的受力条件,降低模具危险截面上的应力值,在模具前面增设的与单体导流模外形相似的模具。它与单体导流模的区别是导流模起金属在流经模孔前的预分配和导向的作用,主要解决金属的流速不均问题,而保护模主要是起保护模具危险截面以提高模具强度的作用。

当挤压如图15.3-41所示的深槽形(或称半空心)型材时,采用一般的模具结构很难甚至不可能挤出合格的产品。即使用加厚模芯的办法来提高模具强度,也满足不了挤压工艺的要求,为此,对这类半空心型材的模芯,必须增设保护模。

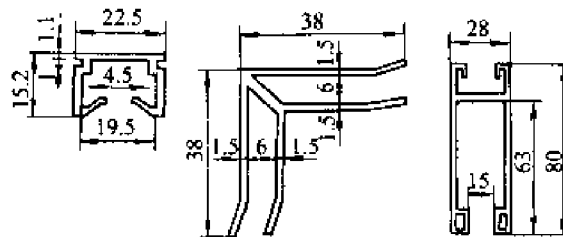


图 15.3-41 典型深槽形型材

由于保护模的导流孔对金属充填进行了合理



的预分配,使金属流动平衡、均衡,特别是保护模承受了大部分的挤压力,改善了悬臂部分的受力条件,降低了模具危险截面上的应力值,所以显著地提高了模具强度和使用寿命。

### 3.5.1 结构设计

保护模很像分流模的上模,由于它保护的是实心大悬臂型材模孔,所以在桥下可以不做突出的舌头。如果做了舌头伸进模孔,而在型材的实心部分必须把模孔堵起来,使该处的壁厚等于零,如图 15.3-42 所示。

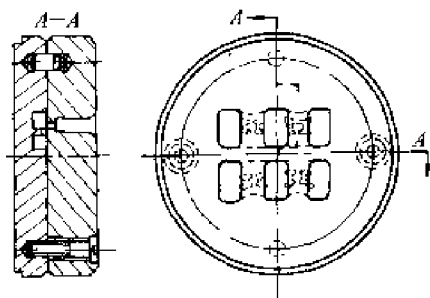


图 15.3-42 封闭式分流模

此种分流模叫封闭式分流模。在设计封闭式分流模时,恰当选择封闭部位和封闭方式是设计的关键。若封闭部位选得不对,或封闭方式选得不好,可能在封闭处的型材上出现飞边或凸棱,严重时会影响型材的表面质量。此种结构模具在模具制作和模具修理上困难较大,有特殊需要时才采用。

在挤压悬臂较大、模孔尺寸公差要求较严的情况下,把悬臂做成模桥而和型孔连在一起形成一个整体。此种结构模叫整体分流模。它的特点是悬臂坚固,尺寸准确,但模具加工和修模都很困难。所以,此种结构模很少被采用。

1) 保护模分流孔的选择 分流孔一般对着非悬臂部分,在模具强度允许的情况下,尽量选择得大一些,这样可以减少挤压阻力。分流孔的形状可根据型材形状按导流模的设计原则来具体确定。

2) 分流桥的选择 分流桥一般选在对着危险截面之处,尽量把危险截面遮挡起来,桥下要做成与悬臂相似的形状且比悬臂要小 4~8 mm,这样便于金属流进模孔。桥下距模具平面一般要留 0.2~0.4 mm 的间隙,此间隙叫压力消减间隙。在保护模受压后,变形到刚好与悬臂处接触,即抵消了一部分压力,真正起到保护悬臂的作用。

3) 桥墩的选择 在不影响金属流进模孔的情况下,尽量选择近一些,这样不仅增加了保护模的强度,而且也增加了模具的强度。

不仅平模可以采用保护模的结构,在挤压内腔较大的空心型材时,为了保护分流模上模芯在挤压时不致于被压掉或偏摆,在分流模上再增设保护模。

在分流模入口的端面上,设置一个流口截面形状与分流模的分流孔相似的圆板(即保护模),保护模与上模端面之间同样要留压力消减间隙。挤压时,保护模受压产生挠曲变形,其挠曲变形的幅度等于压力消减的间隙值。

采用保护模可以改善模桥和模芯的受力状况,可降低 15%~20% 的应力值。这样不仅减小了模桥,特别是减小了模芯损坏的可能性,也增加了模芯在挤压过程中的稳定性,有利于保证制品的尺寸精度。

### 3.5.2 强度校核

1) 抗弯强度校核 抗弯强度校核的公式如下:

$$H = L \sqrt{\frac{p}{2\sigma_p}} \quad (15.3-14)$$

式中  $H$  —— 模具危险截面处的计算厚度(保护模与模具总厚度)(mm);

$L$  —— 分流桥两桥墩间的距离(mm);

$p$  —— 作用在挤压垫上的压力(比压)(MPa);

$\sigma_p$  —— 模具材料的许用弯曲应力,对 3Cr2W8V 或 4Cr5MoV1Si 钢,在 400℃ 时,取 1 000 MPa。

实际设计时,采用的模具厚度不得低于上述计算的模具总厚度。

2) 抗剪强度校核 抗剪强度校核公式如下:

$$\tau = \frac{Q}{A} \leq \tau_p \quad (15.3-15)$$

式中  $\tau$  —— 剪应力(MPa);

$Q$  —— 分流桥端面上所承受的总压力(N);

$A$  —— 分流桥受剪的总面积(mm<sup>2</sup>);

$\tau_p$  —— 许用剪切应力,对 4Cr5MoV1Si 钢,在 400℃ 时,取 500 MPa。

### 3.5.3 设计举例

窗帘滑道型材壁厚仅为 0.7 mm,最厚处不

得超过0.8 mm, 型材高为14 mm, 宽为22 mm, 型材所包围的面积达206 mm<sup>2</sup>, 而开口处仅为4.2 mm, 舌比为11.6。若用普通平模生产, 不管模具设计成多厚, 舌头小细脖总会被压弯或被压掉, 必须采用保护模加平模的设计方法, 如图15.3-43所示, 方能正常生产。

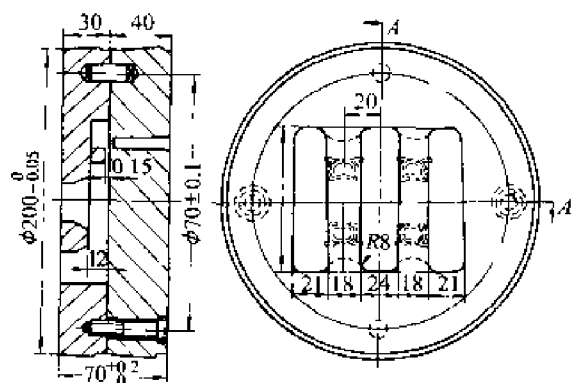


图 15.3-43 平模带保护模装配方式

### 3.6 水冷模与氮冷模设计

水冷模与氮冷模是为了提高挤压速度而设计的一种特殊结构的模具。前者冷却效果较后者差, 但成本低。它们的工作原理是用冷却水或液态氮来降低金属变形区的温度, 提高挤压速度, 减少挤压制品的表面裂纹。

在挤压铝合金时, 金属在变形过程中, 巨大的变形能大部分要转换成热能, 会使金属流经模孔的温度进一步升高。因此, 工艺上规定了不同合金的加热温度和挤压速度。

铸锭加热温度越高, 挤压速度也就越低, 否则将产生表面裂纹, 即所谓的“高温热脆性”。为解决这一问题, 曾提出采用铸锭梯度加热、等温挤压等方案。而直接带走变形区热量的最佳方案就是采用水冷模或氮冷模挤压。水冷模和氮冷模有基本相同的结构形式, 如图15.3-44所示。

在模具工作带周围设计一个冷却水道, 通上循环水或液氮。此环状冷却孔如距模具端而过远, 则冷却效果不好, 过近则模具强度受影响, 因此, 此类模具的水道设计是个关键问题。

通过模孔的冷却水或液氮是由电磁阀自动控制的, 其程序是: 被压的金属开始流出模孔时, 打开电磁阀供水; 挤压接近完了时, 停止供水;

若发生闷车等意外情况, 可以用手动阀门自动关闭水源, 待挤压恢复正常时再开始供水。

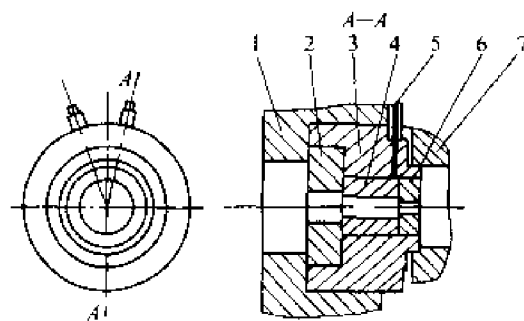


图 15.3-44 水冷模挤压模

1—压型嘴(模架) 2—支承垫 3—模套  
4—模垫 5—冷却水管 6—模子 7—挤压筒

采用水冷模或氮冷模, 挤压力约提高5%~10%, 但可提高挤压速度30%~50%。

近年来, 有的工厂采用了水封头水冷模如图15.3-45所示。这种模具的结构特点是将水冷模设计成环形喷水装置, 逆挤压方向喷到模具工作带的出口处, 形成冷却区域, 达到降低变形区温度的目的。挤压时, 随着挤压制品的向前移动, 喷出的冷却水通过导管进入水封头的负压区被吸入水封槽内。

在挤压完毕清除残料等辅助工序过程中, 水不会滴到模具表面, 因而解决了模具因冷却不均而产生裂纹的问题。

这种结构的模具, 其水冷效果很好, 如在16MN油压机上用φ170 mm挤压筒, 挤压2A12合金的φ40 mm棒材时, 当铸锭加热温度为400~450℃, 冷却水压为0.3~0.4 MPa时, 棒材的挤压速度可从一般挤压的0.5~2 m/min提高到3.9~4 m/min, 而表面并不产生裂纹, 从而使生产效率提高一倍以上。

采用液氮形成的低温氮气冷却模具的方法, 一般有三种。

1) 工作带直接冷却法 如图15.3-46所示。低温氮气首先达到模具的工作带, 而后进入模垫内的环形槽, 并冷却刚出模孔的型材, 以防止过度氧化, 并加强型材的空冷淬火效果, 从而可以省去后部的风冷设备。氮气供给量由温度自动调控系统控制, 使挤压模温度保持在稳定的理想范围内。此法效果最佳, 但因系统复杂, 模具加工困难, 成本高等缺点而没有得到广泛应

用。

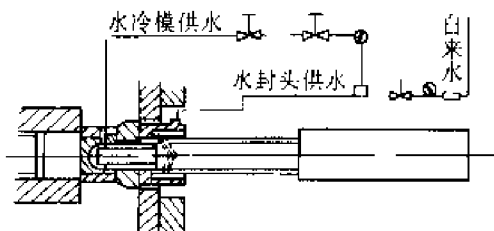


图 15.3-45 水封头水冷模

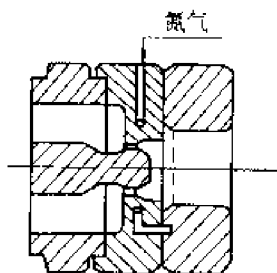


图 15.3-46 工作带直接冷却法

2) 模外冷却法 在模具支承上加工出一些环形槽，将低温氮气通入槽内，冷却模具的径向表面。也可以控制模具温度使之不超过选定的温度。模具支承上的环形槽如图 15.3-47 所示。

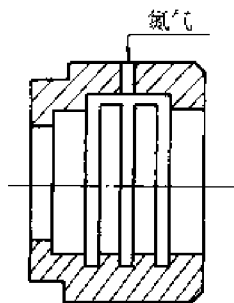


图 15.3-47 模支承冷却法

3) 模垫冷却法 此法简单易行，投资少。将低温氮气通入模垫上开出的环形槽内，再经型孔均匀地喷出，既冷却了模具，又对型材有保护作用，同时能提高型材的淬火效应，模垫上开的环形槽如图 15.3-48 所示。

贮氮罐是液氮冷却的关键设备，建议采用固定式真空粉末绝热罐为好。

在向模具通液氮时，为防冷却过快而闷车（压不动），可采用  $-20 \sim -40^{\circ}\text{C}$  的氮气。采用热电偶测量模具径向外表面温度，氮气温度采用温度计测量。

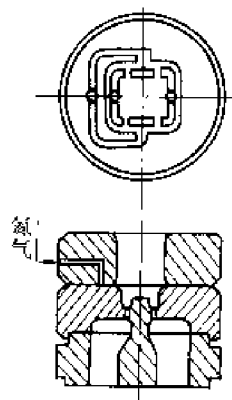


图 15.3-48 模垫冷却法

## 4 空心铝型材挤压模具设计

### 4.1 无缝圆管挤压模

这类模具主要是指借助于穿孔针用空心铸锭或实心铸锭穿孔来挤压管材用的模子和针尖。由于穿孔针必须置于挤压机的中心线上，所以，只能进行单孔挤压，因而模孔的理论重心也应置于挤压机中心线上。

#### 4.1.1 管材模尺寸

管材一般采用锥形模（见图 15.3-49）进行挤压。实践证明，锥形模的锥底角在  $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$  时，可以得到比较均匀的金属流动和较小的挤压力。

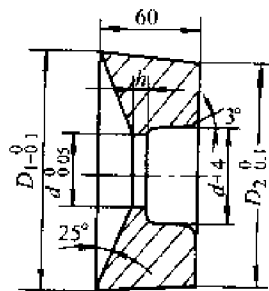


图 15.3-49 管材挤压模

1) 模孔尺寸  $d$  一般按下式计算

$$d = d_0 + Kd_0 + 0.04t_0 \quad (15.3-16)$$

式中  $d_0$ 、 $t_0$  ——分别为管材的公称外径和壁厚 (mm)；

$K$  ——考虑影响模孔直径各种因素的综合经验系数，对纯铝、防锈铝取  $0.01 \sim 0.012$ ，对硬铝和锻铝取  $0.007 \sim 0.01$ 。

对于某些壁厚和偏心要求不严的铝合金管材，其模孔尺寸也可以用下式确定

$$d = d_0 + \Delta + Kd_0 \quad (15.3-17)$$

式中  $d_0$  ——管材的公称外径 (mm);  
 $\Delta$  ——管材外径的极限上偏差 (mm)。

2) 管材模工作带长度 一般应短于相同外径的棒材模的工作带长度，但也不宜过短。对中、小规格管材模，一般取 2~6 mm，对大规格管材模可取 5~10 mm。表 15.3-7 给出了常用管材模的设计尺寸。

表 15.3-7 常用管材模设计尺寸 (图 15.3-49)

挤压力/MN	挤压筒直径 $D_1$ /mm	模孔直径 $d$ /mm	大端 $D_1$ /mm	小端 $D_2$ /mm	工作带长度 $h$ /mm
34.3	230	30~90	160	158	3
34.3	280	41~145	230	228	4
34.3	370	143~289	330	328	5~6
24.5	200~280	30~150	250	248	3~4
15.07	140~200	16~80	150	148	2~3

4.1.2 挤压针尺寸

1) 针前端定径部分的直径取决于管材内径及其精度要求和被挤合金的性质，一般用下式确定

$$d_1 = d_0 - 0.007d_0 \quad (15.3-18)$$

式中  $d_1$ 、 $d_0$  ——分别为针前端工作带长度上的直径和管材的公称内径 (mm)。

2) 针前端工作带长度可用下式计算：

$$L_1 = h + L_2 + L_3 \quad (15.3-19)$$

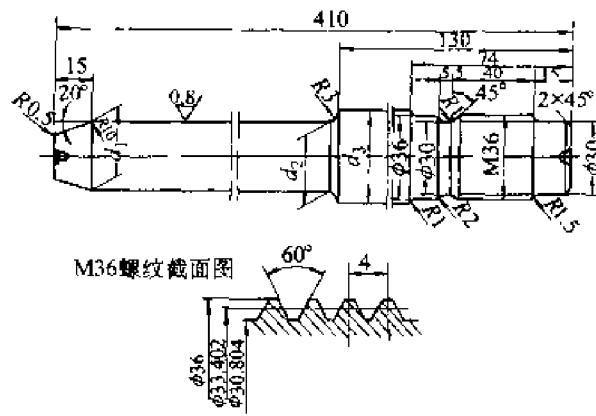
式中  $L_1$ 、 $h$  ——分别为针前端工作部分长度和管模工作带长度 (mm);

$L_2$  ——针前端伸出工作带的长度，一般取 10 mm;

$L_3$  ——余量，一般取 20~30 mm。

图 15.3-50 及表 15.3-8 分别列出了 5.88MN

立式挤压机用的部分挤压针的结构尺寸，图 15.3-51 及表 15.3-9 分别给出了 34.3MN 卧式挤压机用的组合针的结构尺寸。



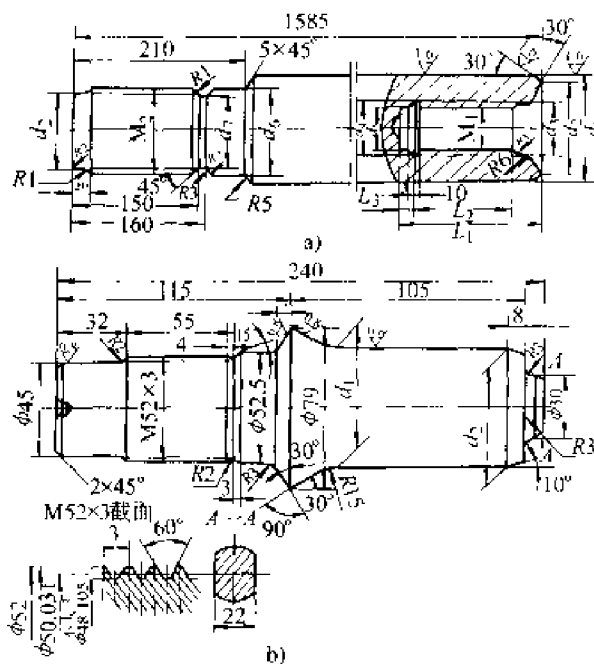


图 15.3-51 34.3MN 卧式挤压机组组合针结构

a) 针后端 b) 针尖

表 15.3-9 34.3MN 卧式挤压机组用的组合挤压针的结构尺寸 (图 15.3-51) (mm)

挤压筒直径 $D_1$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$d_7$	$d_8$	$M_1$	$M_2$	$L_1$	$L_2$	$L_3$
230	85	57	35.9	36.5	30.25	57.6	48	46	G1 $\frac{1}{8}$	M56×5.5	95.5	38.1	25.4
	100	57	35.9	36.5	30.25	101.6	91	89.6	G1 $\frac{1}{8}$	M100×6	95.5	58.1	25.4
	100	80	53.15	53.15	45.14	101.6	91	89.6	M52×3	M100×6	154	95	25.4
280	125	120	78	78	70	101.6	91	89.6	M76×4	M100×6	154	95	25.4
	160	155	102	102	92.5	135	121	120	M100×4	M130×6	174	120	20
370	230	225	135.2	135	120.2	135	121	120	M130×6	M130×6	230	170	32

$$\sigma_m = \frac{F_m}{A} \leq \sigma_p \quad (15.3-22)$$

式中  $\sigma_m$  ——由前拽力引起的拉应力 (MPa);  
 $\sigma_p$  ——挤压针的许用应力, 对于 3Cr2W8V 或 4Cr5MoVSi 钢, 在 450℃ 时, 取  $\sigma_p$  为 1 000 MPa;  
 $A$  ——挤压针螺纹部分的截面积 (mm<sup>2</sup>).

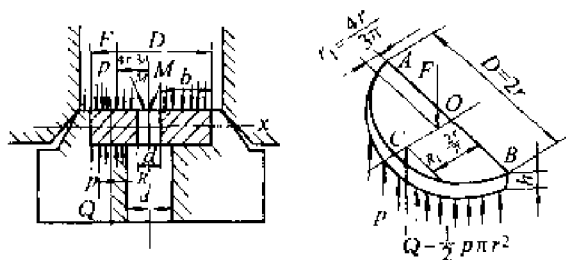


图 15.3-52 管材模抗弯强度校核

$$M = Q \frac{2r}{\pi} \cdot F \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{r}{\pi} = p \cdot \frac{r^3}{3}$$

$$AB \text{ 面上抗弯截面模数, } W = \frac{2rh^2}{6}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = p \frac{r^3}{3} / \left( \frac{2rh^2}{6} \right) = \frac{pr^2}{h^2} \leq \sigma_p \quad (15.3-20)$$

$$r = l/2$$

式中  $p$  ——挤压机比压 (MPa);

$D$  ——模具直径 (mm);

$h$  ——模具厚度 (mm);

2) 挤压针强度校核 挤压针所受前拽力  $F_m$  的计算:

$$F_m = \pi d L_i \tau \quad (15.3-21)$$

式中  $d$  ——挤压针的直径 (mm);

$L_i$  ——挤压筒内瞬间铸锭长度 (mm);

$\tau$  ——挤压针表面的平均摩擦应力 (MPa);

满足安全的条件为

## 4.2 平面分流组合模

在不带穿孔装置的普通型棒材挤压机上生产空心型材, 必须采用一种特殊结构的模具——分流组合模。实心铸锭在挤压筒中, 通过挤压机作用在挤压轴上的力使铸锭从模孔中挤出之前先分成几股, 随后再在模孔前汇合, 形成围绕模芯的环形整体而被挤出模孔, 形成闭合的空心型材。

分流组合模的特点是必须有一个或几个形成内腔的芯子, 芯子设计在桥上, 桥把金属分开成几股而流向模孔。

由于模桥设计不同, 分流组合模可分为平面分流模 (分流模)、舌型模 (桥式模) 和叉架模等。

### 4.2.1 平面分流组合模的特点

平面分流组合模一般用来生产空心 and 悬臂较大的半空心型材。

在建筑型材中,大多数都是外形较大、壁较薄、截面形状复杂、沟槽和丝孔较多的空心 and 半空心型材。在空心型材中又出现单腔、双腔和多腔。对于这类型材,即使在有穿孔系统的挤压机上也很难实现挤压生产。

在生产半空心型材或截面壁厚相差悬殊的型材时,如果采用平模,无论怎样调整工作带和设计促流角或阻碍角,都很难把流速调整均匀。若采用分流组合模,用分流孔和桥芯来调整流速,就很少出现波浪、扭拧和弯曲,能够很顺利地生产出合格产品。平面分流模较舌型模易加工,在挤压生产时操作简单,分离残料较舌型模容易,生产效率高,残料较舌型模短,成品率也高。

对于形状复杂的半空心型材,分流模结构可减小悬臂上的承压力,有利于保证模具强度。

用分流模可实现多根铸锭的连续挤压,然后按需要的制品长度截取,还可实现在小挤压机上挤出外形较大规格的产品,并且可以达到所给定的变形量。用分流组合模,可采用实心铸锭在型、棒挤压机上一次生产单根和多根管材,制品内外表面质量好,尺寸精确。

分流组合模生产的型材存在焊缝。如果模具上涂油或铸锭表面不干净,制品焊缝中会存在夹渣。若挤压温度过低或模具设计不合理,都会影响焊合质量。另外,分流模的变形阻力较平模大,目前只限于生产一些纯铝、铝-锰和铝-镁-硅合金。如果能减小挤压阻力或提高模具强度,就可扩大挤压合金范围。

如果在上模上加一个保护板,如图 15.3-53 所示,把分流桥保护起来,降低分流桥承受的力,

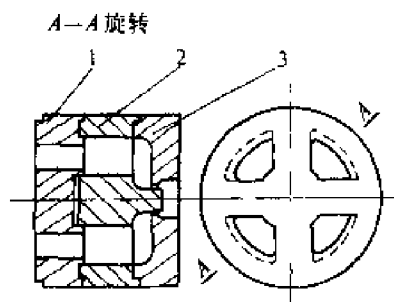


图 15.3-53 平面分流组合模保护  
1—保护板 2—上模 3—下模

把分流桥减窄以增大分流比,这样就可以挤压铝-锌-镁系(硬铝)等合金。

### 4.2.2 平面分流组合模结构

一般平面分流组合模是由上模、下模、定位销、联接螺钉四部分组成,见图 15.3-54。为了保证模具强度,减少或消除模具变形,还要配备专用的模垫和模后座。

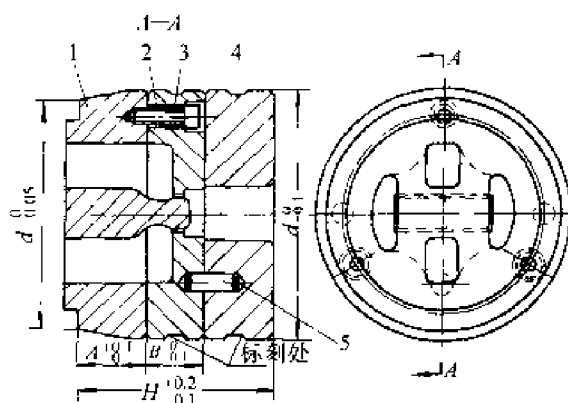


图 15.3-54 平面分流组合模结构

1—上模 2—联接螺钉 3—下模 4—模垫  
5—定位销

1) 上模 在上模上有分流孔、分流桥、模芯、桥墩,有的还在桥下开有焊合室。

分流孔是变形金属通往焊合室及型孔的通道。分流桥用来支承模芯、遮挡型孔及悬臂,并劈开金属。模芯用来形成空心型材的内腔或在生产半空心型材时用来遮挡悬臂。桥墩用来支承模桥或改变金属的流向。桥下焊合腔用来焊合金属,使其具有良好的焊合质量。

2) 下模 在下模上有焊合室、型孔和桥墩。焊合室把被分流桥分开的几股变形金属经过分流孔在此重新焊合起来,以形成围绕模芯的环形整体。型孔用来确定型材的外部尺寸。桥墩用来支承模桥,以缩短模桥跨度、增加模桥的抗压能力。

在模芯和型孔上都做有工作带(定径带)和空刀,利用工作带的宽度来调整金属的流速。做空刀的目的是使金属在流动中不受阻碍,不划伤制品。不同型式的空刀对工作带强度的影响不同,故应视具体情况来选定。

3) 定位销和联接螺钉 定位销供上模和下模装配定位之用,在挤压单孔圆管时,可以把定位销省去。

联接螺钉把上、下模牢固地联接在一起,形成一个整体。

#### 4.2.3 平面分流组合模参数

1) 分流比  $K$  值的选择 各分流孔截面积之和  $\sum A_i$  与型材截面积  $A_f$  之比称为分流比  $K$ , 即:

$$K = \frac{\sum A_i}{A_f} \quad (15.3-23)$$

$K$  值大小直接影响挤压阻力大小、制品的成形和焊合质量。 $K$  值越小, 挤压变形阻力越大, 这对模芯和生产都不利。在保证模芯强度的前提下, 对于空心型材取  $K=10\sim30$ , 对实心悬臂型材选  $K=10\sim20$ , 对于管材可取  $K=5\sim10$ 。

2) 分流孔的选择 分流孔的形状、截面尺寸、数目和分布都影响挤压制品的质量、挤压力和模芯寿命。

分流孔的截面形状一般有圆形、腰子形、矩形、扇形和梅花形及异形等, 见图 15.3-55。对于复杂截面型材多采用扇形和异形; 对圆管及简单截面型材多取圆形和腰子形; 对于矩形管和方形管多采用扇形和矩形; 对于挤压多根空心型材则多采用梅花形。

为了减小挤压力, 提高焊合质量, 或者制品的外形尺寸较大且扩大分流比又受到模芯强度限制时, 可做成内斜度为  $2^\circ\sim4^\circ$  外锥度为  $3^\circ\sim6^\circ$  的斜形分流孔, 这样可以降低挤压力 10% 左右。

在挤压简单的空心型材且不过分计较挤压力的情况下, 也可把分流孔做成相反的角度 (喇叭口), 这样在模芯不合格时, 金属可从分流孔中拔出, 减少了蚀洗时间, 给修模带来方便。但有时设计不当会在残料分离时出现空洞, 在挤压下一根制品时出现气泡等缺陷。

分流孔的数目根据空心型材的截面形状、复杂程度和模孔排列位置具体确定, 对于外形尺寸小、截面形状较对称的型材, 可采用两孔或三孔。对外形较大、截面复杂的型材, 取四孔或多孔。

一般情况下, 分流孔数目应尽量少, 以减少模桥造成的焊缝。少取分流孔可增大分流孔的面积, 从而降低了挤压力。

分流孔在模芯平面上的合理布置, 对于平衡金属流速、减小挤压力、促进金属的流动与焊合、提高模芯寿命等都有一定的影响。对于对称性较好的空心制品, 各分流孔的中心圆直径应大致等于  $0.7D_i$  ( $D_i$  为挤压筒内孔直径)。

对于非对称空心型材或异形管材, 应尽可能保证各部分的分流比基本相等; 或者型材截面积稍大部分的  $K$  值略低于其它部分的  $K$  值。此外, 分流孔的布置应尽量与制品保持几何相似性。为了保证模芯强度和制品质量, 分流孔不能过于靠近挤压筒或模芯边缘; 为了保证金属的合理流动及模芯寿命, 分流孔也不宜过于靠近模芯中心。

3) 分流桥的选择 分流桥结构直接影响挤压力大小、金属流动快慢、焊合质量和模具强度。

从加大分流比、降低挤压力来考虑, 分流桥宽度  $B$  可选择小些; 但从改善金属流动均匀性和模芯强度来考虑, 模孔最好受到分流桥的遮蔽, 因而  $B$  选择得大一点较合适。综合考虑, 一般  $B=b+\Delta$ , 式中  $b$  为型腔宽度 (mm),  $\Delta$  为增加的富裕量 (mm), 一般富裕量取  $3\sim10$  mm, 制品外形及内腔尺寸大时取下限、反之取上限。

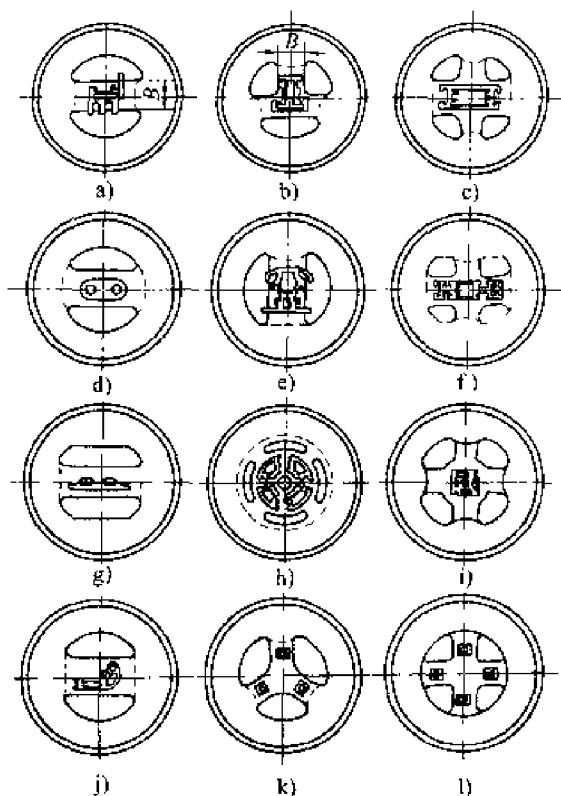


图 15.3-55 分流孔截面形状

- a) 一根 2 腔 1 芯 b) 一根 3 腔 1 芯 c) 一根 4 腔 1 芯  
d) 一根 2 腔 2 芯 e) 一根 2 腔 2 芯 f) 一根 4 腔 2 芯  
g) 一根 2 腔 2 芯 h) 一根 4 腔 5 芯 i) 一根 4 腔 5 芯  
j) 一根 2 腔 3 芯 k) 三根 3 腔 3 芯 l) 四根 4 腔 4 芯

分流桥截面形状见图 15.3-56, 主要有矩形、矩形倒角和水滴形 3 种。后两种截面都有利于金属流动与焊合, 所以被广泛采用。

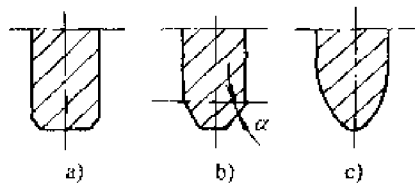


图 15.3-56 分流桥截面形状

a) 矩形截面 b) 矩形倒角截面  
c) 水滴形截面

分流桥下梁斜度 (也称焊合角) 一般取  $\alpha = 30^\circ$ , 对于模芯较小的取  $\alpha = 45^\circ$  或  $60^\circ$ ; 桥底圆角  $R = 2 \sim 5 \text{ mm}$ 。

现有的制模手段有时  $R$  做得不准, 因此, 近年来多采用倒梯形的结构, 这样容易加工准确。

分流桥的高度直接影响挤压力的大小和模芯强度。一般在保证模芯强度的前提下, 桥越矮越好, 这样可以降低挤压力。因此, 设计中对模桥要进行强度校核。

4) 桥墩的选择 为了增加模桥强度, 通常在桥两端做有桥墩。桥墩多呈半圆形, 在保证有充足金属流进模孔的条件下, 桥墩距模孔越近越好, 以便减小桥的跨度, 不仅大大提高模芯强度而且改善了金属流动, 避免死区产生。

5) 模芯 (舌头) 结构设计 模芯 (舌头) 相当于挤压针, 其定径区决定制品的内腔形状和尺寸, 它的结构直接影响模芯强度、金属焊合质量、模芯加工方式和难易程度。最常见的模芯结构有锥式 (多用于挤压管材)、锥台式和凸台式三种, 见图 15.3-57。

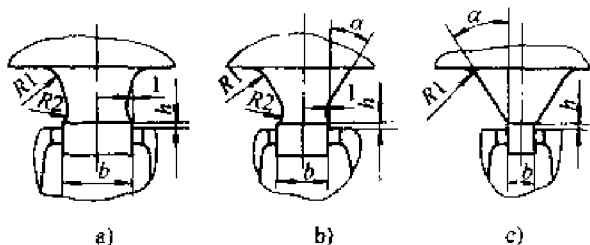


图 15.3-57 模芯的结构形式

a) 凸台式 b) 锥台式 c) 锥式

在模芯宽度  $b \leq 10 \text{ mm}$  时, 多采用锥式。这

种结构形式的模芯强度和刚度都较高, 但不易加工。

模芯宽度  $b$  在  $10 \text{ mm} < b \leq 20 \text{ mm}$  时, 多采用锥台式。这种结构的强度和刚度较锥式的稍低, 但加工容易些。

当模芯  $b > 20 \text{ mm}$  时, 多采用凸台式, 虽然这种结构的模芯强度和刚度不及前两种, 但加工容易, 同时也便于修模。

在实践中, 为了增加模芯刚度, 在保证有充足金属流入模孔的前提下, 模芯应尽量做得短一点, 这样, 在挤压时模芯很少失去稳定性而发生偏壁。但模芯又不能做得太短, 因为太短会影响焊合质量, 而且容易产生流速不均, 使正对分流孔的部分流速加快。

一般模芯要伸出下模工作带  $3 \sim 5 \text{ mm}$ 。因为在确定模芯工作带时, 总要比下模工作带的对应部分上、下都要长出  $0.5 \sim 1 \text{ mm}$ , 以免在上、下模合起来时, 因制造上的误差而破坏了设计的有效工作带长度。模芯长出下模  $3 \sim 5 \text{ mm}$  还起到保护上模工作带的作用, 不至于在装配中碰伤工作带。

挤压大圆管时 (圆管内径大于  $60 \text{ mm}$ ), 可在模芯中心钻成  $\phi 20 \text{ mm}$  以上的圆孔, 且要保证圆筒壁厚为  $20 \text{ mm}$  左右, 孔的头部可加工成球形 (球的半径  $R$  等于圆筒半径), 其高度可与焊合室齐平。这样可使模芯的淬透性好, 增加模芯强度, 同时使模芯变成弹性管, 以减小或避免发生塑性变形而产生永久性的偏壁。

上述三种模芯仅是模芯的基本结构形式。设计时, 应根据具体情况设计出与每个挤压型材特点相适应的结构形式。比如挤压双孔或多孔型材时, 便采用特殊的结构形式。如镶嵌式模芯、双腔型材模芯等, 见图 15.3-58。

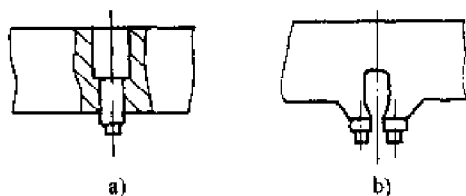


图 15.3-58 特殊结构的模芯

a) 镶嵌模芯 b) 双模芯

6) 焊合室形式及其确定方法 当分流孔形状、数目、大小及分布状态确定之后, 焊合室截



面形状和大小也基本上确定了, 焊合室的高度、形状和入口形式均影响焊合质量、金属流动和挤压阻力的大小。焊合室高度  $h$  太高会影响模芯的稳定性, 易出现型材壁厚不均现象, 而且挤压

力也大; 高度太矮时, 由于压力不足, 会使焊合质量不佳。焊合室高度在很大程度上取决于挤压筒的直径, 见表 15.3-10。

表 15.3-10 焊合室高度与挤压筒的关系 (mm)

挤压筒直径 $D$	95 ~ 130	150 ~ 200	200 ~ 280	300 ~ 350	$\geq 500$
焊合室高度	10 ~ 15	20 ~ 25	30 ~ 35	40 ~ 50	40 ~ 60

焊合室形状一般采用碟形, 为避免死区产生, 一般取焊合室斜度  $\beta = 5^\circ \sim 15^\circ$ , 底部圆角  $R = 5 \sim 10 \text{ mm}$  (见图 15.3-59c)。同时, 对着分流桥桥墩处做成相应的凸台, 托住桥墩。凸台呈半圆形, 这样不仅增加了模芯强度, 同时也消除了桥根处金属流动的死区。

根据金属流动的特点, 有的模芯将焊合室的碟形底部加工成不同的斜度, 对金属易流动部分取小斜度, 对金属难流动部分取大斜度。近年来, 为了节省工具钢材, 尽量减薄下模, 而把焊合室全部或一半做在上模上。下模焊合室就因而取消变成平模或减矮一半。这样做虽然下模加工简单 (相当加工一个平模), 但减弱了上模, 且给加工上模带来麻烦。

焊合室的形状和大小对制品焊缝质量有很大的影响。只有焊合室体积与制品截面积之比较大时, 才能够保证建立足够大的静水压力, 使焊缝牢固。焊合室的截面形状及入口形式应随挤压制品截面的变化而不同, 如图 15.3-59 所示。

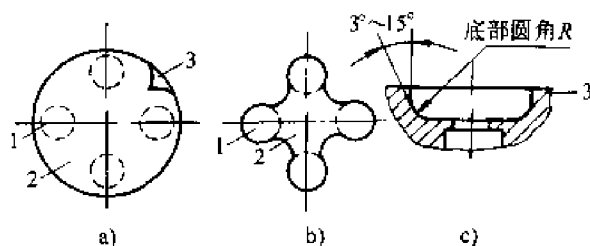


图 15.3-59 焊合室的基本形式

a) 圆形焊合室 b) 碟形焊合室 c) 焊合室剖面  
1—分流孔 2—焊合室 3—死区

管材与外接圆较小的型材其焊合室多采用圆截面形式。当外形较大且截面较复杂时, 一般采用异形截面的焊合室。有时也采用截面形状与型材外形大体相似的焊合室。

同时挤压两根或多根型材时, 可以设计一个共同的焊合室, 也可在焊合室内设计一个隔墙, 把各孔隔开而形成各自独立的焊合室, 如图 15.3-60 所示。

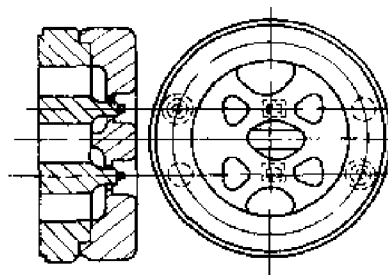


图 15.3-60 公用分流孔示意

7) 模孔尺寸选择 用平面分流组合模生产的制品, 绝大多数为民用建筑型材。这些型材形状复杂, 外廓尺寸大而壁很薄, 并要求在保证强度的条件下尽量减轻重量, 减少用材和降低成本。因此, 外形和壁厚尺寸尽量按下偏差考虑, 在模芯设计上只考虑金属冷却后的收缩量。一般情况下, 模孔外形尺寸  $A$  可按下式确定:

$$A = A_0 + KA_0 = (1 + K) A_0 \quad (15.3-24)$$

式中  $A_0$  ——型材外形公称尺寸 (mm);

$K$  ——经验系数, 一般可取 0.007 ~ 0.015, 对 6063 合金来说可取 0.012。

型材壁厚的模孔尺寸  $B$  可由下式确定:

$$B = B_0 + \Delta \quad (15.3-25)$$

式中  $B_0$  ——型材壁厚的公称尺寸 (mm);

$\Delta$  ——壁厚型孔尺寸增量 (mm); 当  $B_0 \leq 3 \text{ mm}$  时, 取  $\Delta = 0 \sim 0.05 \text{ mm}$ ;  
当  $B_0 > 3 \text{ mm}$  时, 取  $\Delta = 0.1 \text{ mm}$ 。

但在挤压特薄壁 (壁厚在 0.8 mm 以下) 的型

材时,  $\Delta$  可加大到 0.2~0.3 mm。这是因为模芯变形或因牵引关系而使型材壁厚减薄太多的缘故。

8) 模孔工作带长度 确定平面分流组合模的模孔工作带长度, 要比确定平面模的工作带复杂得多, 因为不仅要考虑型材本身的壁厚与距挤压筒中心的距离, 而且还必须考虑模孔被分流桥遮蔽的情况, 以及分流孔的大小和分布。

在确定工作带长度时, 首先要找出在分流桥下, 远离分流孔和挤压筒中心部分最窄的模孔, 因为此处金属最不容易到达, 流动条件最差。可把此处的起码工作带定为型材壁厚的两倍, 然后依此类推, 再找出最难流动的地方。可在起码工作带上再加长一点作为此处的工作带长度。这样一直找下去, 直到找到对着分流孔或离分流孔最近, 离挤压筒中心也较近而且壁厚又较厚的部分, 一定要把工作带加长。因此, 在设计时, 要尽量做到把壁厚较厚的部分放到分流桥下或远离挤压筒中心的地方。

对于初从事模具设计的人来说, 缺乏工作带的设计经验, 而模具设计的诀窍也就在于此。工作带的设计技术各国都十分保密。由于型材种类千变万化, 分流孔设计方法又不统一。目前不论是否采用电子计算机辅助设计, 在工作带的设计上, 现场经验仍十分重要。初设计时, 可按上述原则把起码工作带加大一点, 这样, 系统工作带就相对地加长了, 给修模留出了调整的余量, 误差的灵敏度也降低了。这样的选择虽然增加了工作带的摩擦阻力, 对提高挤压速度和制品表面质量不利, 但它能使型材成形, 且便于修模。但工作带太长, 导致阻力增加, 易产生堵模, 这一点也必须注意。

工作带变化处要采取斜过渡, 一般多采用 30° 或 45° 过渡。如果突然变化, 易在挤压的制品上出现凸棱或凹下, 影响型材的表面质量。

若模孔工作带变化较大时, 模芯相应部位的工作带长度也应作相应的调整。

9) 模孔空刀结构型式及选择 模孔空刀即模孔工作带出口端悬臂支承结构。合理地选择模孔空刀, 既可以保证模芯强度, 又不致于划伤制品和产生堵模现象。空刀量过大, 工作带支承减弱, 在冲击和闷车的情况下可能把工作带压掉; 空刀量过小, 挤压中在制品表面产生的小金属瘤会堆积在空刀处, 时间一久就会变硬并划伤制

品。图 15.3-61 给出了几种常见的空刀形式。

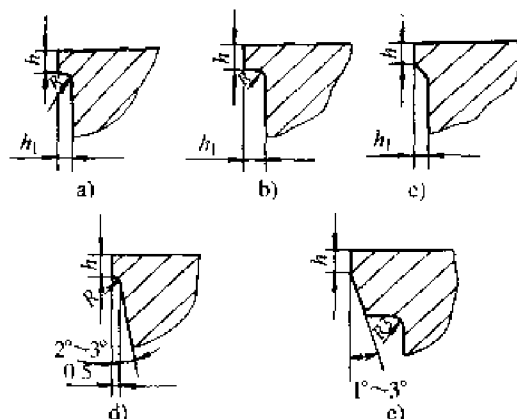


图 15.3-61 平面分流模模孔空刀结构

- a) 直角切口 b) 圆弧切口 c) 斜度切口  
d) 圆弧与斜度组合切口  
e) 斜度与圆弧阶梯形切口

对于壁厚较厚的制品, 多采用直空刀形式, 此种空刀容易加工。对于壁厚较薄或带有悬臂的模孔处, 多采用斜空刀形式, 这样虽较前者难加工, 但可提高模子强度。目前国外不少国家都有用斜空刀形式, 因此模子寿命较长。

#### 4.2.4 组合模强度校核

平面分流模工作时, 其最不利的承载情况发生在分流孔和焊合室尚未进入金属, 以及和金属充满焊合室而刚要流出模孔之时。要针对模子的分流桥进行强度校核, 主要校核由于挤压力引起的分流桥弯曲应力和剪切应力。对于双孔或四孔的分流模, 可将一个或两个分流桥视为受均布载荷的简支梁, 并对其进行危险截面的抗弯和抗剪强度校核。

1) 抗弯强度校核 从抗弯强度校核公式可推导出计算模子分流桥最小高度的公式。

$$H_{\min} = L \sqrt{\frac{p}{2\sigma_p}} \quad (15.3-26)$$

式中  $H_{\min}$ ——模芯危险截面处的计算厚度, 即分流桥的计算高度 (mm);

$L$ ——分流桥两桥墩之间的距离 (mm);

$p$ ——挤压筒最大比压 (MPa);

$\sigma_p$ ——模芯材料在工作温度下的许用弯曲应力 (MPa), 对 3Cr2W8V 钢或 4Cr5MoVSi 钢, 在 450℃ 以下时取  $\sigma_p = 1\,000$  MPa。

实际设计时,所采用的分流桥高度不得低于由上式计算得出的桥高值。

2) 抗剪强度校核 抗剪强度校核公式如下

$$\tau = \frac{F}{nA} \leq \tau_p \quad (15.3-27)$$

式中  $\tau$  ——切应力 (MPa);

$F$  ——分流桥端面上所受的总压力 (N);

$A$  ——以分流孔间最短距离为长度,以模芯厚度为高度所组成的总面积 ( $\text{mm}^2$ );

$\tau_p$  ——模芯材料在工作温度下的许用切应力 (MPa);  $\tau_p = (0.5 \sim 0.6) \sigma_{bp}$ , 对 3Cr2W8V 钢或 4Cr5MoV1Si 钢, 在 450℃ 时取  $\sigma_{bp} = 1\,000 \text{ MPa}$ 。

3) 安全系数法 假定分流模的设计方案如图 15.3-62 所示,可按下述安全系数法强度校核经验公式进行校核。

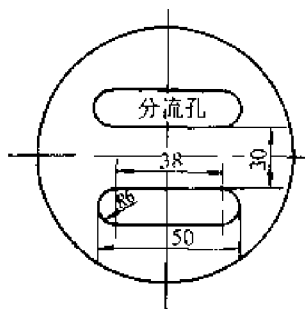


图 15.3-62 分流模强度计算简图

$$n = \frac{\text{桥宽} \times \text{桥厚} \times \sigma_{bp} \times 2}{\text{受压面积} \times p} \geq 3$$

式中  $p$  ——压强;

$\sigma_{bp}$  ——许用应力。

例 按图 15.3-62 给的条件,且挤压机公称压力为 17.6MN,挤压筒直径  $\phi 174 \text{ mm}$ ,桥厚选为 40 mm,  $\sigma_{bp}$  为 1 127 MPa,则计算安全系数  $n$  为

$$n = \frac{30 \times 40 \times 1\,127 \times 2}{30 \times 50 \times \frac{\pi}{4} \times 174^2} = 2.38$$

强度符合要求。

## 5 建筑用铝型材挤压模设计

### 5.1 建筑用铝型材的特点

建筑用铝型材的工艺装备、生产工艺和模具

的设计与制造均已基本定型,具有标准化、系列化的特点。

1) 民用建筑型材绝大多数采用 6063-T5 铝合金生产,这是因为 6063 铝合金质轻,有良好的塑性,工艺成形性能好,表面处理性能优良,可以用它生产出轻巧、美观、耐用的优质型材。

2) 建筑铝型材的品种繁多,其横截面积范围为 0.1 ~ 100  $\text{cm}^2$ ,外接圆直径范围为  $\phi 8 \sim \phi 250 \text{ mm}$ ,腹板厚度范围为 0.6 ~ 15 mm。

3) 型材壁薄,绝大多数型材的壁厚为 0.6 ~ 2 mm,形状复杂,且截面变化剧烈,相关尺寸精度要求高,技术难度大,大多数为超高精度薄壁型材。

4) 建筑铝型材中的空心制品比例很大,空心型材与实心型材的比例大约为 1:1,而且内腔多为异型孔,有的常为多孔异形薄壁空心制品。

5) 一组建筑型材往往需要组装成不同的门窗系列或其它的建筑结构,因此配合面多,装配尺寸多,装饰面多。为了减少型材品种,要求型材具有通用性和互换性,这就提高了型材的精度要求和表面质量要求。

由于民用建筑铝型材具有上述特点,加大了模具设计与制造的难度。

### 5.2 建筑用铝型材模具设计

民用建筑铝型材模具的设计除了遵循普通模具的设计原则以外,还有如下特点:

1) 挤压机(挤压筒)的最佳比压范围为 450 ~ 700 MPa。

2) 挤压系数的最佳范围为 50 ~ 80。

3) 最佳比压和挤压系数可通过挤压机、挤压筒、挤压工艺参数、铸锭长度以及模孔孔数来进行调节。

#### 5.2.1 模具种类及其结构特征

挤压民用建筑铝型材的模具可分为平面模和空心模两大类。空心模又可分为平面分流组合模、星形组合模、舌型模,其中平面分流组合模最为常用,占 95% 以上。

平面模用于挤压实心型材,模子可以做得很薄,在 14.7MN 以下的中小型挤压机上使用的模子可以薄到 20 ~ 25 mm, 15.7 ~ 34.3MN 挤压机用的模子可以取 30 mm 左右厚。薄模易加工

制造,便于修模和抛光工作带表面。为了保证模子强度和产品尺寸稳定性,要增加模垫的厚度或数目。

平面分流组合模用于挤压空心型材,因需经二次变形,故所需挤压力较大,易造成闷车。用这种模子挤压空心型材,成品率较高,模子易加工制造,生产操作简便,能生产各种高精度、高光洁表面、形状复杂的薄壁空心型材和多孔空心型材,但在挤压中或挤压完毕时修模和清理残料较困难。

星型组合模适用于外形尺寸较大的空心型材,挤压力较分流模的小,型材成品率较高,残料清理也较容易,但模子加工较困难。

舌型模残料较长,型材成品率低,模子加工难度介于两者之间,但挤压阻力较小,且在挤压中或挤压结束时残料容易清理干净,修模方便,故多用于需要较高挤压力和质量要求较高的薄壁空心型材或硬合金军工铝材。表 15.3-11 列出了 3 种空心型材模的优缺点。

表 15.3-11    3 种空心型材模的比较

模芯种类	挤压工艺性能	产品质量(成品率)	模子加工难度	清理金属和修模	适用范围
平面分流组合模	不好	良好	易	难	所有空心制品
星形组合模	中等	良好	难	中等	外形尺寸大的空心型材
舌型模	良好	不好	中等	易	硬合金高质薄壁空心型材

5.2.2    模孔的布置

- 1) 应考虑型材挤出模孔时在出料台上的稳定性,以防扭弯型材。
- 2) 装饰面不要与出料台直接接触,以防划伤表面。
- 3) 应考虑到靠近挤压筒中心的金属比靠近边缘的金属流动较快,所以型材的薄壁部分应尽可能靠近挤压筒中心。
- 4) 对于槽形型材,其模孔布置时应避免金属流动快慢不均而造成的舌头偏斜,引起型材壁厚不均,见图 15.3-63。

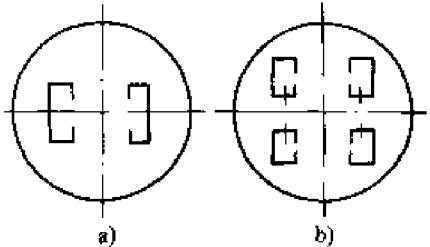


图 15.3-63    槽形型材模孔布置  
a) 上下流速相同,舌头偏斜较小  
b) 内快外慢,引起舌头偏斜

5) 模孔最大外接圆与模孔周边的距离对应,见表 15.3-12 和表 15.3-13。

表 15.3-12    平面模的布置

类型	模子外径/mm	模孔外接圆直径/mm
多孔模	180	130
	230	155
	280	200
单孔模	180	110
	230	130
	280	170

表 15.3-13    平面分流组合模的布置

模子外径/mm	入料孔外接圆直径/mm
150	100
180	130
200	140
230	160
250	180
280	200

5.2.3    模腔形状及其在模子平面上的布置

模子入料腔的数目、形状、大小及其在模子平面上的排列对金属流动影响极大,应根据挤压

筒的大小、产品形状、挤压产品的根数及其排列位置来确定入料腔的形状和数目。模腔的设计应保证模孔金属流动的均匀性,在保证模子强度的条件下应尽量设计得大一些。图 15.3-64 为几种常见的排列方式。

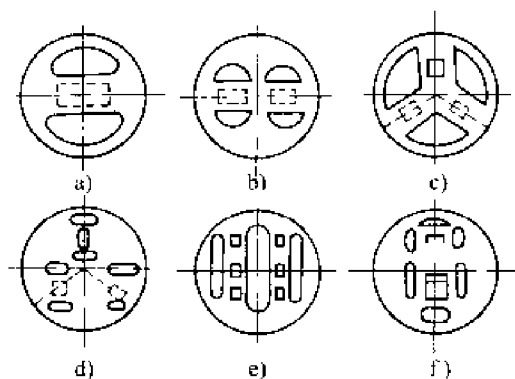


图 15.3-64 平面分流模分流孔数及排列位置

- a) 一根两腔 b) 两根四腔 c) 三根三腔  
d) 三根六腔 e) 三根三腔 f) 一根六腔

模孔尺寸按下式确定:

$$\text{模孔外形尺寸} = A_0 + (1.01\% \sim 1.02\%) A_0 \quad (15.3-28)$$

式中  $A_0$  —— 型材外形的公称尺寸。

$$\text{模孔壁厚尺寸} = S_0 + (1.01\% \sim 1.02\%) S_0 + C \quad (15.3-29)$$

式中  $S_0$  —— 型材壁厚公称尺寸;

$C$  —— 经验修正值。

## 5.2.4 模孔工作带的确定

### (1) 影响模孔工作带长度的因素

工作带长短是调整金属流动速度的关键因素,工作带设计不当,型材各部分流出模孔的速度就不均匀,挤压出的制品就会产生扭拧、弯曲、平面间隙大等缺陷。为了合理给定工作带,应考虑影响工作带长度的两个主要因素。

1) 模孔排列位置对金属流动的影响 挤压时金属的流动特性是靠近挤压筒中心部位的金属流动快,远离中心的逐渐减慢。为此,如要使金属流动均匀,必须把中心部位的模孔工作带做得长一些,远离中心处逐渐减短。模孔工作带变化数值与挤压筒直径有关。

2) 型材壁厚对金属流速的影响 型材壁厚越大即模孔尺寸越大,则金属流动就越快,因

此,为了调整流速,此处的工作带就应做得厚一些。

根据上述两个因素,模孔工作带可按如下公式计算:

$$L = tK_1K_2 \quad (15.3-30)$$

式中  $L$  —— 工作带长度 (mm);

$t$  —— 型材厚度公称尺寸 (mm);

$K_1$  —— 模子材质强度系数  $K_1 \approx 1.5 \sim 2.0$ ;

$K_2$  —— 模孔位置流速差之比。

### (2) 模孔工作带长度的确定

#### 1) 平面模模孔工作带长度的确定方法

① 设计工作带长度时,以整个型材最难挤出(成形)部分为基准点,取该处工作带长度  $L$  为成品厚度的  $1.5 \sim 2$  倍。以图 15.3-65 中的型材为例,该型材的壁厚为  $t$ ,由于其宽度较大,两端部出料较难(见虚线部分),故以此处作为设计工作带的基准点,取  $L = (1.5 \sim 2)t$ 。

② 与基准点相邻部位的工作带长度比基准点工作带长 1 mm,见图 15.3-65。

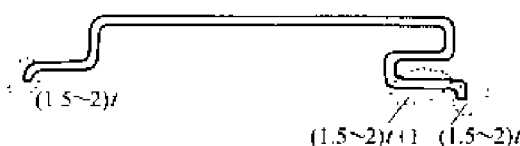


图 15.3-65 实心型材工作带基准选取

③ 型材厚度相同部位,如其距离挤压筒中心的距离相等,工作带的长度应相等。

④ 由模子中心算起,每远离中心 10 mm 则其工作带长度应相应减少,参看图 15.3-66 及表 15.3-14。

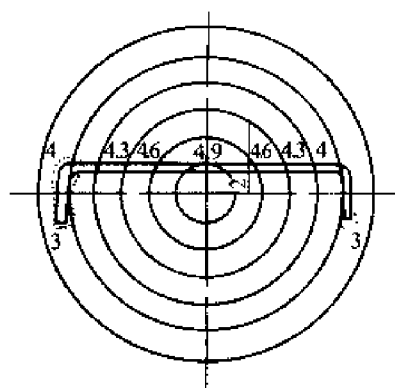


图 15.3-66 工作带长度与距中心距离的关系

表 15.3-14 型材厚度与工作带长度对应关系

型材厚度/mm	每相距 10 mm 工作带增减数值/mm
1.2	0.2
1.5	0.23
2.0	0.30
2.5	0.35
3.0	0.40

⑤ 其它情况相同时,工作带的长度与该处的厚度成正比。例如:  $t_1 = 1 \text{ mm}$  处工作带长  $L_1 = 2 \text{ mm}$ , 则  $t_2 = 1.5 \text{ mm}$  处的工作带长度  $L_2$  为  $3 \text{ mm}$ , 即

$$L_2 = \frac{L_1 t_2}{t_1} = 3 \text{ mm}$$

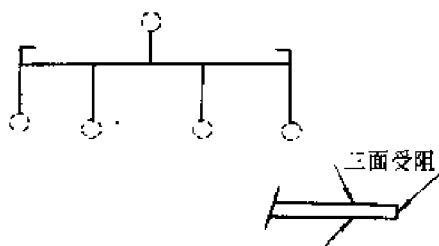
⑥ 型材螺孔处的工作带长度应增加  $1 \text{ mm}$  (见图 15.3-67a), 型材两边交接处有圆弧  $R$  的地方工作带长度应增大  $1 \text{ mm}$  (图 15.3-67b)。



图 15.3-67 工作带长度增加示意

- a) 螺钉孔处增加  $1 \text{ mm}$   
b) 圆弧处增加  $1 \text{ mm}$

⑦ 型材模孔的端部因三面受阻, 金属流速较慢, 故此处的工作带应减少  $1 \text{ mm}$ , 见图 15.3-68 的圆圈处。

图 15.3-68 模孔端部工作带长度变化  
(虚线圆圈处工作带长度应减少)

## 2) 分流组合模模孔工作带长度的确定方法

① 桥底入料困难处工作带长度为型材厚度的两倍, 即  $L = 2t$ 。靠近入料口处的模孔, 因金属流动较好, 工作带长度应为  $2t + 1 \text{ mm}$ 。

② 型材空心部分工作带长度与通位长度  $L$  有关, 见图 15.3-69。

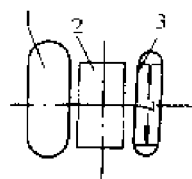


图 15.3-69 分流组合模空心部位的工作带

- 1—入料孔 2—工作带长等于  $2t$   
3—工作带长等于  $2t + 1 \text{ mm}$

当  $L = 15 \sim 20 \text{ mm}$  时, 工作带长度为  $2t + 1 + 0.5 \text{ mm}$ ;  $L = 21 \sim 30 \text{ mm}$  时, 工作带长度为  $2t + 1 + 1 \text{ mm}$ ;  $L = 30 \text{ mm}$  以上时, 按上述比例增加。

③ 与空心部分(通心部分)相接的实心模孔部分的工作带, 与分流孔的大小、形状和分布有关, 桥底及入料不直接流入的模孔工作带取 3 倍厚度加  $1 \text{ mm}$ , 即  $L = 3t + 1 \text{ mm}$ , 入料直接流入的模孔工作带取厚度的  $4 \sim 5$  倍, 即  $L = (4 \sim 5)t$ 。

## 5.2.5 调整金属流速的特殊方法

1) 导流法 在模子工作端面上做一个深度  $15 \sim 20 \text{ mm}$  的凹兜, 将金属导入模孔并用合理设计导流孔的大小和形状来调节金属的流速。如对于槽型材, 常见的两种缺陷就可用导流法来解决, 如图 15.3-70 所示。

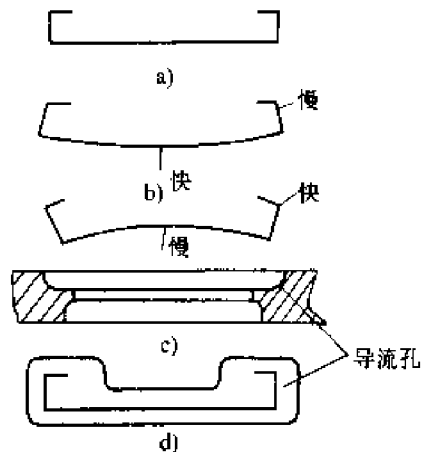


图 15.3-70 用导流法来调整金属流速

- a) 标准槽型材 b) 凸起缺陷  
c) 凹下缺陷 d) 导流模

2) 促流法 在模子工作端面做成各种不同的促流角来调整金属的流速, 如壁厚变化的楔形型材, 在窄孔处促流角做得大一些, 在宽孔处促流角做得小一些, 但最大促流角不得大于  $45^\circ$ , 如图 15.3-71 所示。

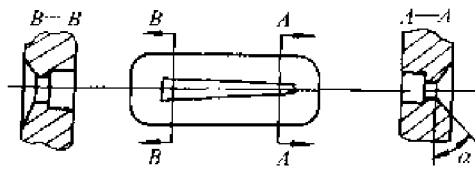


图 15.3-71 带促流角的型材模芯

3) 阻碍法 在模子工作带端面根据型材壁厚设计成不同的阻碍角来调节金属流速。在挤压空心型材时容易出现凸起和凹下缺陷,可用如图 15.3-72 所示方法来修正。凸起缺陷削去 A 处,凹下缺陷削去 B 处。调节方法是消除上模障碍。

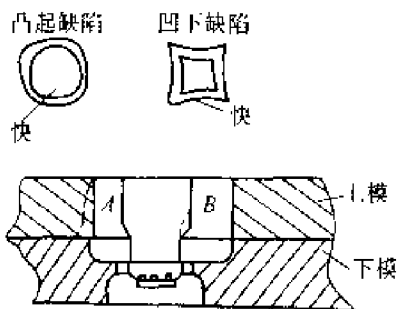


图 15.3-72 用阻碍法调整金属流速

### 5.2.6 空刀设计

1) 对于一般型材模来说,空刀部位尺寸比模孔尺寸大 3 mm (单边 1.5 mm),对于小规格或薄壁型材,为了协调相关位置或增大模芯的强度,空刀尺寸可减小到单边 0.5~1 mm。

2) 为了防止型材与模壁相擦,空刀部分可采用  $3^\circ \sim 5^\circ$  的锥形出口。

3) 型材的螺钉孔及毛条坑位后的空刀应当减短。

4) 易堵模的型材,空刀部分应做成锥形。

5) 为保证型材能顺利通过模孔,模子空刀部分模垫、模支承垫的尺寸一般按如下原则确定:

模子空刀尺寸 = 模孔尺寸 + 1~3 mm

模垫尺寸 = 模孔尺寸 + 6~12 mm

模支承垫尺寸 = 模孔尺寸 + 10~20 mm

### 5.2.7 模子厚度的设计

对于民用建筑型材,平面模的厚度一般取 25~30 mm,分流组合模的厚度由强度校核确定,一般取 80~185 mm,导流模的厚度一般取 15~25 mm。

### 5.2.8 模子强度校核

由于民用建筑型材品种繁多,形状复杂而且

多系薄壁型材或空心型材,这给模子的结构选择和强度校核带来了一定的困难。为简化起见,将民用建筑型材模归纳为平面模和分流组合模来进行强度校核。

#### 1) 平面模强度校核

用平面模挤压双孔扁条型材或悬臂部分很长的半空心槽形型材时,在高温高压下,模子容易发生弹性翘曲,甚至塑性变形,这不仅会改变型材的尺寸,而且会削弱工作带和阻碍角的阻碍作用。在受力过大的情况下,模子会沿危险断面破裂,因此,对型材模子必须进行强度校核。

对于槽形型材模具(图 15.3-73a),可简化为受有均布载荷的悬臂梁,危险断面 1-1 处在挤压时所受的弯矩为:

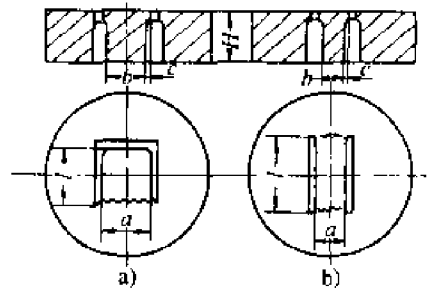


图 15.3-73 平面模强度校核图

a) 带悬臂槽形型材模 b) 双孔扁条型材模

$$M = p \cdot a \cdot l \cdot \frac{l}{2} = \frac{p \cdot a \cdot l^2}{2}$$

$$\text{抗弯截面模数为: } W = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$\text{弯曲应力为: } \sigma_N = \frac{M}{W} = \frac{3p \cdot l^2 \cdot a}{h^2 \cdot b} \leq \sigma_{Nb}$$

∴ 模具的最小厚度为:

$$h_{\min} = l \cdot \sqrt{\frac{3pa}{b\sigma_{Nb}}}$$

式中  $h_{\min}$ ——模具(包括模子和支承环的总厚度)的最小厚度(mm);

$l$ ——槽形模子悬臂梁的长度(mm);

$p$ ——挤压筒的比压(Pa);

$a$ ——模子悬臂梁根部断面处的宽度(mm);

$$b = a - 2c$$

$c$ ——模孔悬臂梁根部出口空刀尺寸(mm),一般取 1.5~3 mm;

$\sigma_{Nb}$ ——模具材料许用弯曲应力,一般取

抗拉强度的(0.4~0.5)倍左右,对H13,在450℃,取 $\sigma_{Np}$   
 $= (400 \sim 500) \text{ MPa}$ 。

为计算方便,可令 $a \approx b$ ,这样对模具厚度影响并不大,则模具最小厚度公式可写成:

$$h_{\min} = \sqrt{\frac{3p}{\sigma_{Np}}}$$

当比压一定时,既挤压机的压力,挤压筒直径一

定时,则 $\sqrt{\frac{3p}{\sigma_{Np}}}$ 为常数并以 $A$ 表示:

$$h_{\min} = A \cdot l$$

该式说明,当比压 $p$ 一定时,模具厚度与悬臂梁长度成正比,在设计如槽形之类有较大悬臂的模子及其他半空心型材模具时,可直接查找根据以上公式列成的表格,以确定模具所允许的最小厚度。

模子的最大挠曲变形,按材料力学公式计算:

$$\delta_{\max} = \frac{q \cdot l^4}{8E \cdot J}$$

式中  $\delta_{\max}$ ——悬臂梁端部最大挠度 (mm);

$l$ ——悬臂梁的长度 (mm);

$q$ ——悬臂梁单位长度上的压力 (N/mm);

$E$ ——模具材料的弹性模量,  $E = 2.2 \times 10^5 \text{ MPa}$ ;

$J$ ——悬臂梁断面的惯性矩,  $J = \frac{bh^3}{12}$ ;

$b, h$ ——悬臂梁的宽度与高度 (mm)。

生产实践证明,悬臂梁的弹性挠度对型材尺寸精度有很大影响,只有当 $\delta_{\max} < 1 \text{ mm}$ 时,才能保证型材的精度。

对于多孔扁条型材模(图15.3-73b),应校核两组危险断面的剪切强度,求出避免剪切破坏的最小允许模子厚度。

$$\tau = \frac{Q}{2A} = \frac{a \cdot b \cdot p}{2h \cdot c} \leq \tau_p \quad \therefore h_{\min} = \frac{a \cdot b \cdot p}{2\tau_p \cdot c}$$

式中  $\tau$ ——危险断面的剪切应力 (MPa);

$\tau_p$ ——模具材料的许用剪切应力 (MPa),

一般取 $\tau_p = (0.55 \sim 0.6) \sigma_{bp}$ ;

$\sigma_{bp}$ ——模具材料的许用抗拉应力,对H13钢在400~500℃时 $\sigma_{bp}$ 取700 MPa;

$p$ ——挤压筒的比压 (MPa);

$Q$ ——两模孔间面积上的总压力 (N);

$a, b$ ——模孔长度和模孔间距 (mm);

$A$ ——截面 $abcd$ 之面积(危险截面之面积) (mm<sup>2</sup>);

$h_{\min}$ ——模具允许的最小厚度 (mm);

$c$ ——两模孔非工作部分的间距 (mm),

$$c = b - (3 \sim 6) \text{ mm}$$

当模孔厚度为一定值时,其固定梁的抗剪强度可变换模孔间距 $b$ 来满足。一般情况下,亦可用以下经验公式计算平面模的安全系数:

$$n = \frac{BH\sigma_{bp} + B_1H_1\sigma_{bp}}{Ap} \geq 2 \quad (15.3-31)$$

式中  $n$ ——安全系数;

$p$ ——挤压机的最大比压 (MPa);

$B, B_1$ ——模子和模垫危险截面的宽度 (mm);

$H, H_1$ ——模子和模垫的厚度 (mm);

$A$ ——模子受压面积 (mm<sup>2</sup>);

$\sigma_{bp}, \sigma'_{bp}$ ——模子和模垫材料的许用应力 (MPa)。

## 2) 分流组合模的强度校核

平面分流组合模的主要破坏形式是:分流桥受弯曲应力面破坏,分流孔在危险断面被剪断,见图15.3-74。

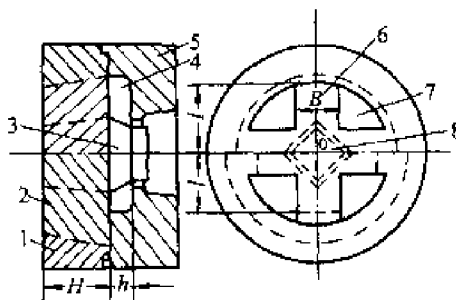


图 15.3-74 平面分流组合模强度校核图

### ① 分流桥弯曲应力的校核

$$\text{校对模子厚度} \quad H_{\min} = l \sqrt{\frac{p}{2\sigma_{bp}}}$$

式中  $H_{\min}$ ——分流桥最小厚度 (mm);

$l$ ——分流桥宽度(两危险断面之间距离) (mm);

$p$ ——挤压机比压 (MPa);

$\sigma_{bp}$ ——模子材料在工作温度下的许用应力 (MPa), 450℃~500℃, H13钢 $\sigma_{bp} = 1000 \text{ MPa}$ 。

### ② 分流孔流道抗剪应力校核



$$\tau = \frac{p}{mA} \leq \tau_p$$

式中  $p$  ——挤压机的比压 (MPa);  
 $m$  ——分流孔的数目;  
 $A$  ——以分流孔间最短距离为长度, 以模子厚度为高度所形成的面积;  
 $\tau_p$  ——模具材料在工作温度下的许用剪切应力,  $\tau_p = [0.5 \sim 0.6] \sigma_{bp}$ , 对 H13 钢 450 ~ 500℃ 时取  $\sigma_{bp} = 1000 \text{ MPa}$ 。

有时亦按以下经验公式计算安全系数  $n$ 。

$$n = \frac{2bh\sigma_{bp}}{Ap} \geq 3 \quad (15.3-32)$$

式中  $b$ 、 $h$  ——分别为分流组合模上模的桥宽和桥厚 (mm);  
 $\sigma_{bp}$  ——模芯材料的许用应力 (MPa);  
 $p$  ——挤压筒最大比压 (MPa);  
 $A$  ——模芯受压面积 ( $\text{mm}^2$ )。

## 6 工业用铝型材挤压模设计

### 6.1 变截面型材模设计

#### 6.1.1 变截面型材的生产特点

变截面型材是指沿型材长度上截面形状和尺寸发生阶段式变化的一种特殊型材, 它主要用于制造承载很大的构件。

变截面型材一般由基本型材、过渡区和尾部截面很大的所谓“大头”三部分组成。型材的“大头”用作接头, 长度一般为 150 ~ 500 mm。过渡区一般长 50 ~ 80 mm, 其作用是为了易于挤压和为精修准备必需的工艺余量。但近来也出现了一种过渡区长达 2.5 m 的阶段变截面型材, 在这种情况下, 过渡区已成为型材主要结构部分之一。基本型材部分的长度不限, 可达 10 ~ 20 m。

大头部分和基本型材部分面积之比是表示型材生产工艺难易程度的基本指标之一。目前, 已能生产该指数达到 10 以上的型材。

根据基本型材和大头部分的形状, 变截面型材可分为 T 字型、工字型、槽型、Z 字型和异型截面等类型, 如图 15.3-75 所示。

挤压变截面型材有以下几种方法:

1) 分步挤压基本型材截面和大头部分的方法 此法可分为采用两套分瓣模分步挤压基本型

材部分与大头部分的方法, 以及采用三套分瓣模分步挤压基本型材、过渡区与大头部分的方法。

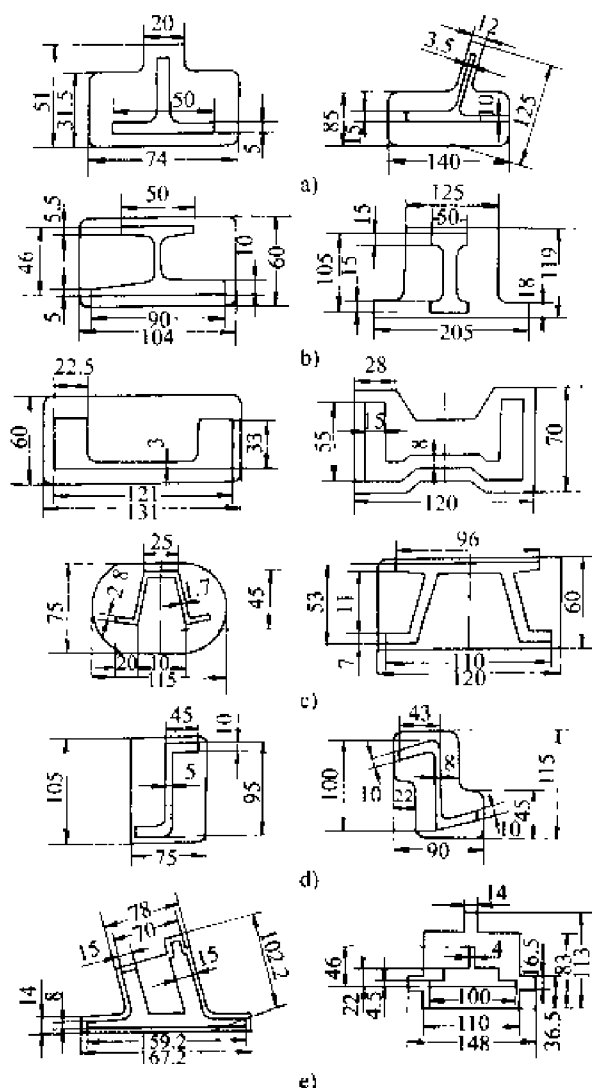


图 15.3-75 变截面型材形状和类型

a) T 字型 b) 工字型 c) 槽型  
d) Z 字型 e) 异型

2) 一次挤压基本型材部分与大头部分的方法 即在模支承内同时装入一套用于挤压大头部分的整体模和一套用以挤压基本型材部分的分瓣模, 在一个挤压过程中同时完成基本型材与大头部分的挤压。此法又可分为用支承环固定型材模的挤压方法及采用能在两个工位滑动的楔键的方法。

3) 用异形挤压筒的挤压方法。

4) 机械换模法。

这几种方法的主要差别在于所用的模具套数、外形结构和装卸方法不同, 各有优缺点, 适用范围也不一样。

### 6.1.2 变截面型材模结构设计

#### (1) 结构要素

用两套分瓣模分步挤压基本型材部分和大头部分的方法,是挤压变截面型材最常用的方法。这种挤压方法所用模具的特点是,型材和过渡区设计成一套模具,而大头部分设计成另一套模具。

用两可拆开的模具挤压阶段变截面型材时,要求其模具的拆开与装配应十分方便。同时,在挤压过程中要保持一定的完整性和稳定性,即在挤压时尺寸不发生任何变化。因此,模具的外形结构和尺寸与一般型材模具不同,而应适合变截

面型材挤压的特点。变截面型材模具的外形结构和尺寸如图 15.3-76 和表 15.3-15 所示。

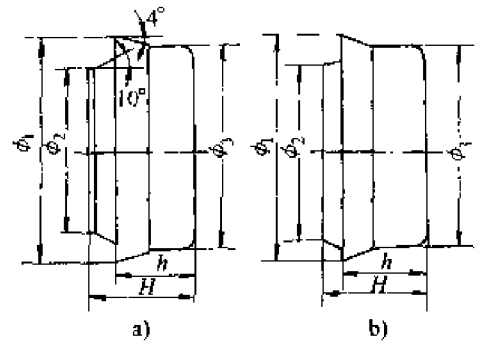


图 15.3-76 变截面型材模外形结构

表 15.3-15 变截面型材模外形尺寸 (图 15.3-76)

挤压力 /MN	挤压筒直径 /mm	模 具 种 类	模具尺寸/mm				
			$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$	$H$	$h$
19.6	200	型材模	225	200	216	125	93
		尾部模	225		216	105	93
19.6	170	型材模	195	170	187	125	93
		尾部模	195		187	105	93
12.25	130	型材模	195	130	187	110	82
		尾部模	195		187	95	82

为了方便更换模具,可拆开的型材模的厚度应比尾部“大头”模的大 20~30 mm。为使模具在拆换过程中操作方便,在每瓣型材模块背后均钻有一个  $\phi 20 \sim \phi 30$  mm 的孔。

为了保持模具在挤压过程中的完整性,采用前后锥角同时配合的方法,其前锥角为  $10^\circ$ ,与挤压筒衬套相配合,其后锥角为  $4^\circ$ ,与压型嘴(模支承)相配合,并应相应设计一套挤压阶段变截面型材专用的压型嘴和挤压筒内套。

压型嘴(模支承)的出口尺寸与形状应与型材大头部分的形状相似,在保持大头能顺利通过的前提下,其尺寸应尽量缩小,以提高模孔尺寸的稳定性。

应合理选择和加工模具的线性配合尺寸  $h$ 。当尺寸  $h$  超过最大极限尺寸时,模具不能组成理想的整体,挤压出的型材尺寸可能超差;当尺寸  $h$  低于最小极限尺寸时,虽然模具能组成一个理想的整体,但拆卸模具时将造成很大困难。

因此,尺寸  $h$  的加工偏差应小于 0.1 mm。

#### (2) 模具分模面的确定

型材模分瓣形式和分瓣块数根据型材形状来确定。分模面的位置应当是便于拆卸和安装,既保证制品的尺寸,又不损伤型材表面。型材模一般可分成三瓣(对于“上”“J”形型材)或四瓣(对于“工”形型材)。对于“工”型材来说,为了方便卸模,其上下平而应做成  $1^\circ \sim 2^\circ$  的倾角,即拔模角(见图 15.3-77)。

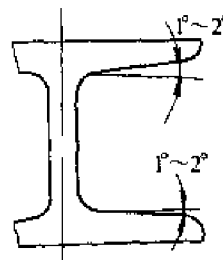


图 15.3-77 “上”形型材的拔模角

大头(尾端)模的模孔形状应与型材相似,分瓣的形式应便于装卸,不损伤制品表面,一般来说,尾端模可分成左右对称的两瓣,见图15.3-78。

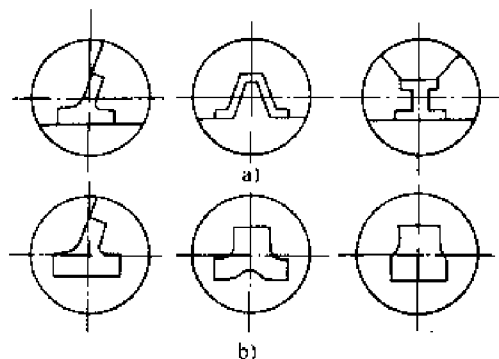


图 15.3-78 变断面型材模分模示意  
a) 前端模 b) 尾端模

### (3) 过渡区的设计

在型材模上有一段长约 50 mm 的连接大头和基本型材截面的过渡区,其入口尺寸小于尾端模孔尺寸(沿周边缩小 2 mm),而用均匀圆滑过渡的曲线与基本型材模孔相连。图 15.3-79 为带有过渡区的“几”形型材的型材模孔立体剖视图,图 15.3-80 为“工”形型材模的过渡区,50 mm 为过渡区深度。如过渡区入口与型材模孔之间连接圆弧的曲率半径  $R_1$  较小时,将形成一段死区,如 A-A 剖面 II 侧所示,可能在型材过渡区引起粗晶。为了减少这种粗晶的出现,可把过渡区连接圆弧的曲率半径  $R$  增大,使之近似等于金属的自然流动角,如 A-A 剖面之 I 侧所示。

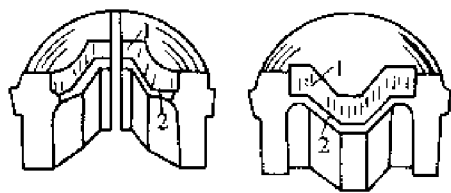


图 15.3-79 阶段变截面型材模立体剖视图  
1—过渡区 2—模孔

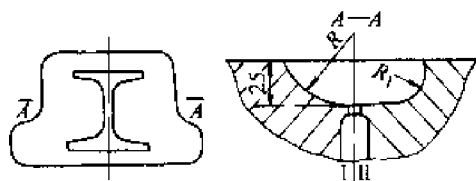


图 15.3-80 阶段变截面型材模的过渡区

### (4) 模孔尺寸的确定

影响阶段变截面型材模和尾端模的模孔尺寸与工作带长短的因素及计算原则,与普通型材模的基本相同,但是考虑到变截面模具的结构特点,其模孔尺寸均应比普通型材模小 0.1 ~ 0.2 mm。为了保证大头部分挤压时的金属流动均匀性,以减少对型材部分根部的影响,尾端模的工作带长度可在很宽的范围内变化(2 ~ 25 mm)。

模孔尺寸的具体计算方法可参照以下公式进行。外形轮廓尺寸、高度  $H$  和宽度  $B$  的计算方法与一般型材模相同。

$$B_1 = B(1 + \mu) + K \quad (15.3-33)$$

$$H_1 = H(1 + \mu) + K \quad (15.3-34)$$

式中  $B_1$ 、 $H_1$ ——分别为模孔尺寸(mm);

$B$ 、 $H$ ——分别为型材尺寸(mm);

$\mu$ ——综合修正系数,考虑到热收缩量、拉挤变形量、模具本身的弹塑性弯曲等因素的影响,对铝合金来说取 0.7% ~ 1.0%;

$K$ ——型材尺寸极限上偏差(mm)。

$$b_1 = b + K \quad (15.3-35)$$

式中  $b_1$ ——模孔尺寸(mm);

$b$ ——型材壁厚尺寸(mm);

$K$ ——型材壁厚尺寸极限上偏差(mm)。

$$L_1 = L - \frac{1}{2} K \quad (15.3-36)$$

式中  $L_1$ ——扩口处模孔尺寸(mm);

$L$ ——型材扩口处尺寸(mm);

$K$ ——扩口处尺寸极限上偏差。

### (5) 专用支承垫和专用导路

可根据型材的形状设计几种典型的专用支承垫。专用支承垫的出口尺寸和形状应当与尾端模相似,但在保证尾端部分能顺利通过的情况下,出口尺寸应尽量设计得小一些,以提高型材的尺寸稳定性。

为了防止在挤压过程中型材产生扭拧、弯曲等缺陷,与生产普通型材一样,应配上相应导路。阶段变截面型材的导路多为方形可拆卸式的,上盖可用活动销钉固定以便于生产。

为了保证型材模和尾端的同轴度与尺寸稳定性,阶段变截面型材应采用专用挤压筒挤压,专

用挤压筒与挤压模配合使用,接触一端应设计两个锥度。 $10^\circ$ 锥体与模具配合使用,而 $15^\circ$ 锥体与压型嘴配合使用,这样能保证挤压筒与模具之间紧密配合,防止挤压过程中金属从缝中流出。

## 6.2 带肋壁板型材模设计

### 6.2.1 带肋壁板挤压特点

带肋壁板是一种宽度很宽、厚度很薄,而且带有纵向肋条的特殊型材。根据截面形状和生产难易程度,带肋壁板可分为三类。第一类为对称型壁板,即壁板的肋条相对于轴线呈对称分布;第二类为不对称型壁板,即壁板的一侧在其板宽度上超过160 mm的区段上无肋条;第三类为完全不对称型壁板,即沿壁板宽度上有明显的横截面变化。

因为壁板型材的宽厚比一般在50以上,形状复杂,单位截面上的表面积又很大,所以是一种十分难挤压的型材。特别是对于宽厚比大于100、壁厚小于3 mm、宽度大于800 mm、长度大于10 m的壁板和空心壁板及硬合金壁板,在挤压时必须采取一些特殊的工艺措施和特殊结构的模具。

挤压壁板的方法很多,根据产品的类型、规格、合金牌号等不同,可分别采用圆筒挤压法、扁筒挤压法、宽展挤压法及空心壁板挤压法等。

圆筒挤压法又可分为圆筒平板法、圆筒“V”形法和圆筒圆管法。圆筒平板法主要用来生产宽度较窄(1000 mm以下)而壁厚在5 mm以上的军用和强力结构的硬合金壁板,是目前广泛采用的方法之一,可在现行的挤压机上采用挤压普通型材的模具结构来进行生产。圆筒“V”形法,由于模具上存在有较大突出的舌头,受力条件恶劣,挤压时易产生压塌、变形等问题,故未获得广泛采用。圆筒空心锭带肋管法可获得宽度最大(可大于2500 mm)的壁板,是目前世界上广为采用的方法之一,可在大型双动挤压机上采用挤压异形管的模具结构生产宽度大、壁薄、质量要求不太严格的硬合金壁板。

扁筒挤压法可分为平板法和“V”形法。扁筒平板法是一种简单适用的方法,可在各种挤压机上采用普通的圆形结构模具或扁形结构模具,生产形状复杂、壁较薄、长度较长、宽度中等(1200 mm以下)、质量要求高的军用或强力结

构用硬合金壁板。扁筒“V”形法由于模具设计、制造比较困难,模具寿命较短和展平工序复杂,所以目前很少采用。

宽展挤压法主要用于在没有扁挤压筒的挤压机上生产中等宽度而形状较为简单的软合金实心壁板,用此法生产壁板需要增加一套宽展模系统。

空心壁板挤压法近年来也获得了广泛的应用,主要用扁筒平面分流组合模法(当无扁筒时采用圆筒组合模法或宽展组合模法)来生产宽度中等(1000 mm左右)的多孔空心软合金壁板。

### 6.2.2 带肋壁板型材模结构设计

#### (1) 模具的结构

较为常用的有扁模结构系统、圆模结构系统、宽展模结构系统、分流组合模结构系统和带肋管挤压工具结构系统。

1) 扁模结构系统 扁模挤压的主要优点是节约大量贵重的高合金模具钢材,由于模具的体积减少,重量变轻,在加工制造时比较轻巧。但用这种模具挤压时,壁板的腹板会明显变薄,其中心部位尤严重。这是由于作用于模具端面上的摩擦应力(等于塑性变形区的单位流动压力)使模具产生了弯曲变形。

由于单位流动压力的分力与摩擦力的方向相反,模孔端面上受的力在很大程度上可用模具端面上形成的倾斜度来平衡。模具端面的倾斜度过大时,由于推力作用所产生的变形量不仅可以与压缩变形量相等,有时还会超过压缩变形量,因而腹板的厚度将会超过名义尺寸。所以,模具端面的倾角通常不应大于 $7^\circ \sim 10^\circ$ 。

因为在挤压过程中引起模孔收缩的力是不均匀的,因而模孔变形可出现明显的差异,这种差异沿壁板方向可达0.3 mm以上。

2) 圆模结构系统 为了提高刚度,将壁板模设计成圆模结构系统,这样可增大相对于挤压筒横截面长轴方向的抗弯矩能力。然而,即使在这种情况下,挤压的模具也会产生相当大的变形,特别是在挤压工具加热不充分时以及挤压过程中铸锭在挤压筒内变冷的情况下更是如此。模具上的正压力,特别是模具接触表面上的摩擦力,在接近挤压后期会增大,因而使模孔变形增大。

与扁模具系统相比,圆模具系统具有比扁挤压筒长轴方向上大得多的抗弯矩能力。所以,大多数情况下,用圆模结构系统来挤压带肋壁板。



生产外带肋管,则肋槽开在模具上,加工、装配和修理都比较方便,因此,在生产中均采用后一种工具结构。

## (2) 模具设计

用平板法挤压壁板时的应力应变状态十分复杂,金属流动极不均匀,挤出产品的前端与尾端、中心与边缘的尺寸往往相差很大(有时达0.8~1.0 mm);易产生波浪、扭拧、刀弯等缺陷,模具易开裂变形。因此,除了合理设计型材,严格控制工艺因素之外,对型材在平面模具上的布置、模腔尺寸和工作带(阻碍角或肋推角)、模具外形等应作合理的设计。

为了调整流速,合理分配金属流量,改善流动特性,对称型壁板应尽量使模孔截面中心与挤压筒截面中心相吻合。不对称型壁板应适当增加工艺余量,以减少其不对称性。对于腹板厚度不同的壁板,应使较薄的部分靠近挤压筒中心。

在确定模孔尺寸时,主要考虑热收缩、模孔的弹性与塑性变形、模具的整体弯曲和拉伸矫直时制品尺寸的变化等因素。在挤压壁板时,由于各部分的尺寸变化规律有很大差异,所以在设计时,模孔尺寸应分成几部分来进行计算。比如,带“1”字形肋条的壁板可以分为两部分——底板部分和肋条部分来考虑。宽厚比大的底板(包括相关尺寸),由于模具的弹性与塑性变形、模具整体弯曲的影响,挤压时有严重的减薄现象,减薄的程度与合金成分、壁板的形状、规格、宽厚比、工艺制度、模具强度(模具材料和外形尺寸)等有关,有时减薄量达3 mm以上。所以在确定底板部分的模孔尺寸时,公称尺寸应加上技术条件所允许的极限上偏差;为了补偿弹性和塑性变形,根据壁板宽度及其与挤压筒的相对位置,应把模孔尺寸增大0.8~1.3 mm;为了补偿模具的整体弹性弯曲,模孔尺寸应从两边向中部均匀地增加1~1.65 mm。

生产实践表明,模孔的整体弯曲主要取决于壁板底板模孔的宽度、厚度及相对于挤压筒中心的位置。在设计模孔尺寸时,一般中心部分应比壁板的公称尺寸大2.5 mm左右,而两侧边的尺寸应比公称尺寸大1.5 mm左右。

除了底板以外的肋条部分受弹性、塑性压缩的以及整体弯曲的影响极小,所以只考虑产品的公差、热收缩量和拉伸矫直量等,也就是说可按

普通型材的变化规律来设计这些部分的模腔尺寸。为了调节金属流速,改善变形条件,防止波浪、扭拧、刀弯等缺陷,必须合理设计模具的工作带长度(它主要与型材设计的部位距挤压筒中心的距离有关,一般取5~15 mm)。经验证明,对宽厚比大的壁板阻碍角的意义并不大。

为了加速金属向窄缝流动,弥补挤压时模孔的变形,有时在模具工作端面上作6°~8°的助推角,见图15.3-83。

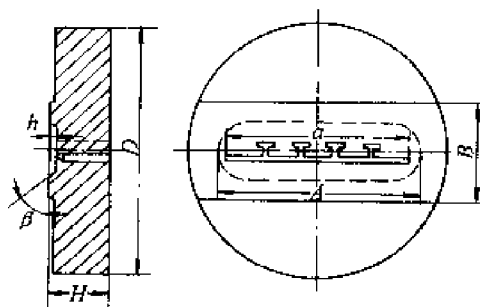


图 15.3-83 壁板模助推角  $\beta$  ( $\beta=6^\circ\sim 8^\circ$ )

模具强度对壁板的成形和尺寸精度有很大影响,所以要选择合适的模具外形、优质的模具材料和适当的热处理硬度。对于大型挤压机,一般采用如图15.3-83所示的模具外形结构和尺寸,选用4Cr3Mo2V钢或H13钢作为模具材料,热处理后的硬度46~50HRC。

## 6.3 宽展模设计

### 6.3.1 宽展挤压及变形特征

1) 宽展挤压的特点 宽展挤压的实质是在圆挤压筒工作端加设一个宽展模,使圆锭产生预变形,厚度变薄,宽度逐渐增加到大于圆挤压筒直径,起到扁挤压筒的作用(参见图15.3-84)。因此用此法可部分代替扁挤压筒生产薄壁铝合金实心壁板或空心壁板。用宽展模挤压法可生产比圆挤压筒直径宽10%~30%的壁板型材,宽展率以15%~30%为宜,宽展角一般取30°左右。但宽展挤压的总挤压力比一般挤压时增加20%~25%,因此挤压系数大长度尺寸大的硬铝合金壁板是比较困难的。

2) 金属流动规律 宽展挤压时,金属在宽展模中被减薄展宽,并且铸锭在挤压筒中产生缴粗变形。当铸锭在圆挤压筒中被缴粗的同时,有一部分金属已流入宽展模中,同时在筒与宽展模

的接角面上形成了一个死区,对铸锭表面金属的流动起阻滞作用。流入宽展模中的金属,中心部分首先接触型材模孔,根据最小阻力定律,金属会沿着模具平面的空档部分流动,产生镦粗作用,并逐渐充满整个宽展模的空间,使铸锭完成宽展变形。与此同时,在宽展模与型材模的接触表面处形成第二个死区(图 15.3-84)。所以,宽展挤压的金属流动的特点是,一方面金属产生宽展变形,使金属的流动特征从圆挤压筒向扁挤压筒的形式发展,即增加了金属流动的几何相似性,使流动的均匀性增大;另一方面,由于存在两个死区和在宽展孔腔周围产生相当大的摩擦阻力,又增大了金属流动的不均匀性。

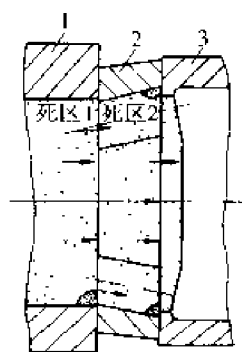


图 15.3-84 宽展模挤压死区示意

1—挤压筒 2—宽展模  
3—型材模

3) 静水压力的建立及挤压力的计算 可以把宽展模看成是圆挤压筒的延长,宽展模型腔的整个空间是挤压筒空间的一部分。由于型材模孔的尺寸与宽展模孔腔尺寸相比是很小的,所以,在镦粗阶段,可以把宽展模和挤压筒看作一个完整的密闭系统,这样在宽展模腔中就建立起静水压力。根据帕斯卡原理,在一个密闭系统中,各方面的压强相等。因此,从理论上讲,在宽展模腔中各点(包括宽展部分)的比压应与圆挤压筒中各点金属的比压相同。这就是宽展部分仍然能建立起静水压力,迫使金属流出模孔的原因。当金属开始流出模孔时,密封系统破坏,静水压力降低,即比压下降(一般为全压力的 0.8 倍左右)。实际上,由于力的角度传递及摩擦力的影响,宽展部分的静水压力会受到一定的损失,因而比压就会降低,所以,用宽展挤压法生产挤压

系数大、宽厚比大的硬铝合金壁板是非常困难的。

由于产品要经过二次变形,同时,宽展模孔腔四周存在着较大的摩擦力,故用宽展模挤压时,一般比用圆挤压筒直接挤压时所需的总压力大 20%~25%。

挤压力可根据 И.Л. 别尔林公式作适当修正后进行计算。

### 6.3.2 宽展模设计

宽展模的设计既要考虑金属易流动,能充分填充,尽可能减少挤压力,又要保证有足够的强度,能作为圆挤压筒的延伸部分,在恶劣的条件下进行工作。因此,在设计宽展模时主要应考虑宽展量  $\Delta B$ 、宽展变形率  $\delta_B$ 、宽展角  $\beta$ 、宽展模的内腔尺寸、宽展模的外径  $D_B$  和厚度  $H_B$ 。计算示意图见图 15.3-85。

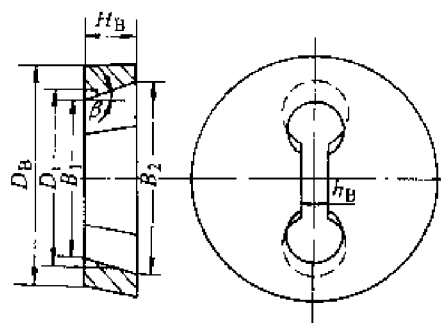


图 15.3-85 宽展模设计计算图

(1) 宽展量  $\Delta B$ 、宽展变形率  $\delta_B$  和宽展角  $\beta$  的确定

宽展量  $\Delta B$  是铸锭经宽展变形以后的最大宽度与圆挤压筒直径之差,  $\Delta B = B_2 - D_1$ 。

为了发挥宽展挤压的作用,  $\Delta B$  应越大越好,但  $\Delta B$  的大小又受金属流动、压力的角度传递损失和模具强度等因素的影响,不宜过大。 $\Delta B$  的值可根据挤压筒尺寸和挤压机取 10~20 mm, 9.8 MN 以下的挤压机取下限, 98 MN 以上的挤压机取上限。

宽展变形率  $\delta_B = \frac{B_2 - B_1}{B_1} \times 100\%$ ,  $B_1$ 、 $B_2$  分别为宽展模入口与出口处的宽度。根据挤压筒的尺寸和比压以及型材宽度,  $\delta_B$  可取 15%~35%。

宽展角  $\beta$  由宽展量和模具厚度来确定,  $\tan \beta = \frac{B_2 - B_1}{2} / H_B$ 。

为了便于金属流动,减少挤压力,一般应使 $\beta$ 与金属的自然流动角相似,在挤压系数 $\lambda = 10 \sim 30$ 的情况下, $\beta$ 可取 $30^\circ$ 左右。

#### (2) 宽展模尺寸的确定

1) 入口宽度 $B_1$  一般比挤压筒直径小10 mm左右, $B_1$ 过大会影响产品质量, $B_1$ 过小则发挥不了宽展挤压的作用。

2) 出口宽度 $B_2$  应根据型材尺寸、宽展量、模具外径和厚度等因素来选择。

3) 宽展孔的高度 $h_B$  应根据型材高度、第一次变形量 $\mu_1$ 大小和模具强度等来确定。一般应保证 $\mu_1 \leq 3 \sim 5$  mm。

4) 宽展模的外径 $D_B$  应根据挤压机压型嘴

的尺寸、型材模的外径和宽展模的强度来选择。为了保证通用性,最好选用与型材模相同的外径。

5) 宽展模的厚度 $H_B$  主要决定于模具强度、宽展角以及挤压力等因素。

#### (3) 强度校核与材料选择

宽展模是圆挤压筒的延伸部分,其受力状态和工作条件基本上与圆挤压筒相似,而且没有挤压筒的多层预紧力作用,所以应选择优质高强耐热合金钢制造。一般采用3Cr2W8V钢,保证在 $500^\circ\text{C}$ 的条件下 $\sigma_{bp} \geq 1\,000$  MPa,硬度为44~52HRC。为了保证宽展模的强度,必须校核宽展模危险截而处的抗压强度,满足 $\sigma \leq 0.7\sigma_{bp}$ 。



## 第4章 挤压模设计实例

### 1 异形空心型材挤压模

某厂承接研制一项高难度新产品是一种有9个异形孔腔的6063-T5铝合金型材(图15.4-1),其外形轮廓大且形状复杂,壁厚且不均匀,其尺寸精度和组织性能要求都很高。经10余次研试,找出了最佳的模具设计与制造方案,成功地研制出了第一批合格产品。为总结经验,推广研究成果,对研制中的关键技术进行了解析。

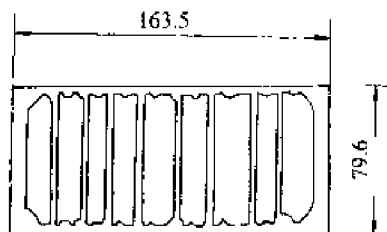


图 15.4-1 9孔异形型材截面形状

#### 1.1 挤压工艺及模具组装方案

型材在25MN液压挤压机 $\phi 260$  mm圆挤压筒上用平面分流组合模挤压。挤压工艺参数为:铸锭规格 $\phi 250$  mm $\times 800$  mm,挤压系数为17.3,残料长度为20 mm,压出长度为14 500 mm,挤压筒温度470℃,模具温度为500℃,挤压温度为450~480℃,挤压速度为4~5 m/min。模具组装方案见图15.4-2。

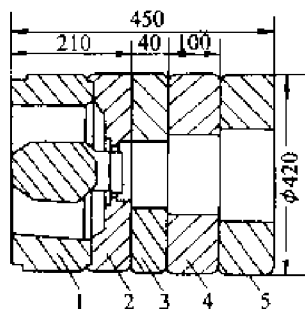


图 15.4-2 平面分流模设计方案

1—上模 2—下模 3—模垫  
4—前环 5—后环

#### 1.2 平面分流组合模设计

##### (1) 设计方案

采用如图15.4-2所示的平面分流模结构。该模具采用上、下焊合室加前置室结构。为降低挤压力,分流孔外侧设计成3°和5°斜度。分流孔选用双孔异形分布,分流比 $K=8$ 。为使金属均匀流出模孔,模孔腔四周均受分流桥遮蔽。两侧上焊合室深10 mm,隔板处上焊合室深19 mm,下焊合室深20 mm,前置室深10 mm。为使型腔中最难成形的8条隔板能充填均匀,上模芯采用凸台式结构,桥孔高19 mm,宽6 mm,模芯支承由中间向两侧呈4°喇叭形式(图15.4-3中B—B截面)。模孔外形尺寸取型材名义尺寸加1%收缩量,而壁厚尺寸应加适当修正量,以防充填不满。最短工作带长度设定为2 mm,根据各处壁厚增减和离中心远近而增减,下模模孔工作带比模芯对应处的短2 mm。模具材料为4Cr5MoSiV1钢,热处理后硬度为46~50HRC。在工作温度下取 $\sigma_{bp}$ 为1 000 MPa,经强度校核后取上模厚度为140 mm,下模厚度为80 mm。

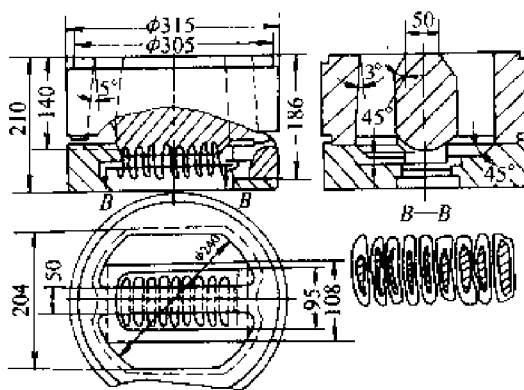


图 15.4-3 平面分流组合模结构设计

##### (2) 模具制作

1) 试验模的制作工艺路线 锻坯→刨阶梯方(上方为180 mm $\times 85$  mm $\times 80$  mm)→热处理(淬火+回火,46HRC)→平磨→划线→电火花加工型芯和型槽(紫铜电极)→检测→电火花加工型芯出口带(石墨电极)。

2) 纯铜电极加工工艺 纯铜板(180 mm $\times$

100 mm×90 mm)→调质处理→刨平面→平磨→划铝丝孔→电火花线切割(LC-350S慢走丝精密线切割机床)。

3) 石墨电极加工工艺 石墨刨方(T355石墨)→石墨成形切割(EMM30石墨成形机,纯铜电极程序减空刀尺寸)→电极修正(工作面修成曲面)→加工型芯出口带(D6140电火花机床,平动加工)。

4) 上下模体的机加工、热处理和电加工 上模体按图样进行机加工,按常规工艺进行淬火、回火处理(基体硬度46HRC左右),然后进行电加工。电加工的工艺特点是:

a) 分别用纯铜电极和石墨电极加工型芯外形、型槽和型芯出口带、纯铜电极的放电量为0.06~0.08 mm。

b) 采用石墨切割两套电极加工上模桥孔和引流槽。上模8个桥孔用组合电极一次性加工成形(19 mm×6 mm),而两侧呈4°喇叭形。金属引流槽则采用单个电极单打,电蚀速度快成形好。

c) 应尽量减小脉宽和电流,减小单个脉冲的放电量,冲油量充足,以确保获得高的精度和表面粗糙度( $Ra0.8\sim0.4\mu\text{m}$ )。

5) 型材平面分流组合模的表面处理工艺特点:

a) 将上下模卸开,装入45 kW回火炉进行低温回火(420~450℃、2~3 h,空冷),以消除电加工和机加工应力。

b) 在SS-1G液体喷砂机仓中用0.28 mm砂粒进行液体喷砂抛光,模芯呈银白色,用酒精洗干表面。

c) 装入LD-50型离子渗氮炉内进行硫、碳、氮三元共渗处理。共渗温度540~560℃;保温时间3~5 h,气压133~1 330 Pa,模芯表面硬度达61HRC以上。

### (3) 试模

1) 试模挤压工艺参数 铸锭规格为 $\phi 250\text{ mm}\times 800\text{ mm}$ ,铸锭加热温度为545℃,挤压筒温度为470℃,模具温度为490℃,泵挤压力为16 MPa,上压速度为0.08~0.39 m/min,中间速度为1.9~2.1 m/min。挤压后成形不好,外形见图15.4-4。由图可知,型材两大面凹下,两侧鼓起,中间8条隔板壁厚不均,发生扭曲。成形不良的重要原因是:型材各区段金属流动不

均,周边金属流速过快,而中间的隔板处金属流速太慢,供流不足。

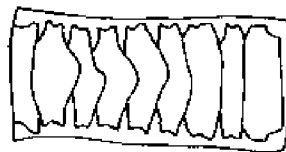


图 15.4-4 首次试模挤压型材截面形状

2) 修模 修模方案见图15.4-5,主要是通过加快隔板处的金属流速,使整个型腔流速趋于一致,具体作法如下:

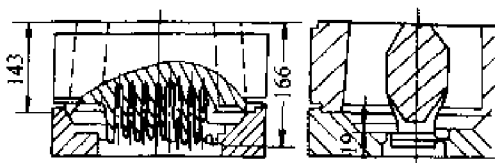


图 15.4-5 修模方案示意

① 在电火花机床上用电极在9个模芯间的上焊合桥孔处增补金属引流槽,以增大隔板处金属供流量。

② 用电火花加工和手工打磨相结合,把上模的桥孔上焊合分流桥截面由矩形倒角改修成近似滴水形截面,以利于隔板处金属流动和焊合。

3) 再次试模 按修模方案修好的模芯进行第2次试模挤压,型材截面成形较第1次试模挤压略有好转(见图15.4-6)。但此模在挤压第3件产品时第7根模芯被压断而报废。原因是桥孔偏移,芯肋强度削弱所致。

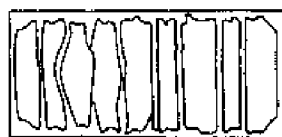


图 15.4-6 第2次试模挤压出型材截面

### (4) 第2设计方案

1) 根据试验结果,提出了如图15.4-7所示的第2设计方案,较第一设计方案有如下改进。

① 上模分流桥中部宽度由95 mm向两侧过渡到84 mm的近似梳子形修改为74 mm宽的直线性,以缩短分流孔内侧到模芯中间的距离。

② 分流桥中间宽度变窄,周边模孔金属流速会相应加快,调整的方法是:把周边模孔工作带厚度增加1~3 mm。

③ 把9个模芯的上焊合分流桥截面由原来的

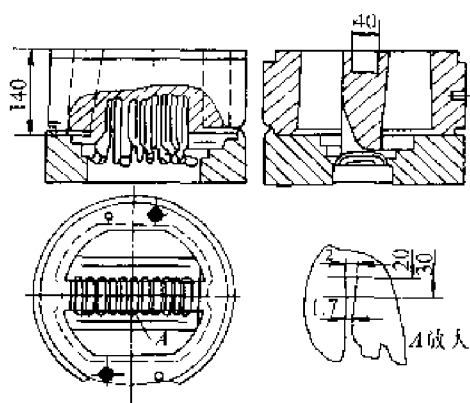


图 15.4.7 平面分流组合模第2设计方案

矩形倒角修改为水滴形截面并增设引流槽。

④ 第1、2次试模挤压的型材每条隔板在宽度方向的壁厚,中间区段为1.02~1.3 mm,两侧为1.7~3.02 mm。经分析,是中间区段壁厚薄金属充填困难造成的。为此,将模孔壁厚由原来的1.9 mm改为中间区段2 mm向两侧1.7 mm过渡,见图15.4-7A放大图。

⑤ 为提高模具刚度,稳定挤压成形,均匀隔板两端壁厚,将模芯上焊合室高度由19 mm降至10 mm,宽度由6 mm减窄至4 mm,并取消喇叭形式。

2) 第2套模具首次试模。按第2设计方案制作的模具,挤压的型材截面仍然不理想(见图15.4.8)。经分析认为,新方案把上模的上焊合室高度降低,宽度变窄,取消喇叭是错误的,因为这不仅未消除隔板两端壁厚超差,反而加大了隔板处金属流动阻力,使成形更差。另外,隔板中间金属不易流动,而大量金属从两侧向隔板空刀流进,造成了隔板两端壁厚超差。

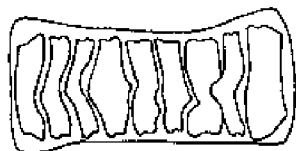


图 15.4.8 第2套模具首次试挤压型材截面示意

### (5) 第3设计方案

1) 在总结前3次试模挤压失败教训的基础上,提出了第3设计方案(见图15.4-9)。修改方案如下:

① 用电加工使上模的模芯上焊合室恢复第一方案加工尺寸和结构形式。

② 修模工将上模分流桥水滴形截面进一步打

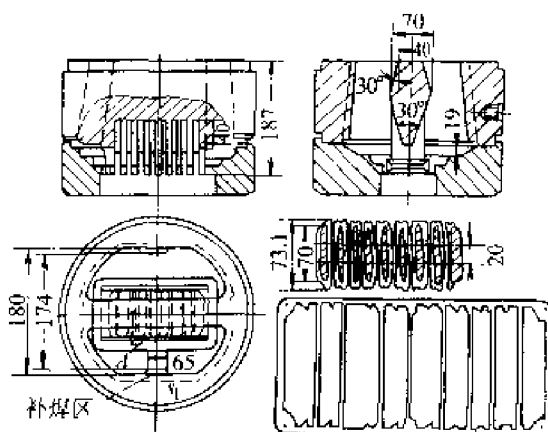


图 15.4.9 平面分流组合模第3设计方案

磨圆滑,减少金属流动摩擦阻力。

③ 在上模分流孔外侧中央补焊两块65 mm厚、40 mm高的钢板,以减少金属对大面中央的金属供流。

④ 对下模周边过渡区工作带补焊1 mm,消除工作带剧变而使制品截面轮廓凸凹、缓和金属对周边的流动。

2) 第4次试模。按第3设计方案修好的模具,采用以上的挤压工艺进行挤压,挤压的型材四角平直,中间隔板壁厚均匀,成形良好,尺寸精度和形位公差都达到了技术条件要求,组织性能良好,完成了设计任务。图15.4-10为研制成功的型材截面形状。

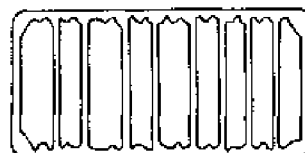


图 15.4-10 研制成功的空心型材截面形状

## 2 典型铝型材挤压模

### 2.1 方管模设计

100 mm×25 mm和100 mm×44 mm方管型材挤压后往往会出现大面起波、平面间隙超差、扭拧、斜角、焊合线和模桥断裂或上模边缘破裂等缺陷,采用橄榄形分流孔和焊合室的设计方案得到改善(见图15.4-11)。该设计方案有如下5个特点。

1) “343”比例供料。大面分流孔外尺寸比小面分流孔外尺寸小。大面分流孔两侧模桥中线

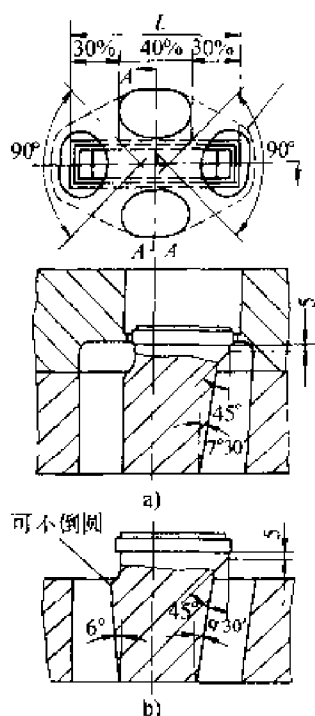


图 15.4-11 方管模结构设计

a) 100 mm×25 mm 方管模

b) 100 mm×44 mm 方管模

按 45°斜线延到模孔大面，即模桥中线与模孔大面交点把大面分成中间 40%，两端各占 30%。两大面的分流孔向中间 40% 部位供料，两端各 30% 部位由小面两端分流孔供料，这样的设计使入料分布比较均匀。

由于大面分流孔接近中心，金属流速快，但它有阻流壁使金属不能直冲型腔；小面两端分流孔距中心远，金属流速慢，但由于两端型腔完全暴露在分流孔中，金属直冲型腔，流速可能要比大面快得多，因此两端采用 7°30' 和 45°阻角及 5 mm 阻流带进行阻流，这样方便修模，易于调整金属流速。

2) 由于采用橄榄形分流孔和焊合室，模桥长度缩短了，模桥承受挤压力大了。另外，减少桥宽和缩小模芯支承部位面积，减少受压面积的挤压力，以及分流孔外尺寸部位与模桥连接的 R 半径在不影响供料情况下尽量大些，模桥还必须进行强度校核（安全系数≥3），使模桥不易断裂。

3) 模桥宽度在强度允许情况下越窄越好，以利于焊合。模桥靠型腔边的模桥焊合角不宜留“三角区”，因为“三角区”是模具形成焊合线的重要原因。

4) 要合理设计模芯工作带长度。模芯除了

使型材成为空心 and 达到孔的尺寸要求外，还起导向定型作用。设计空心型材模忽视模芯导向性是型材成形度差的关键原因。设计分流模模芯长度尺寸的原则应该是取下模最长工作带长度的 1.5~1.7 倍，宽度比较大的型材取大值。

5) 型材外接圆尺寸到焊合室边缘尺寸的确定，根据模具规格不同，一般取 8~15 mm，100 mm×25 mm 方管取 8 mm。

设计分流孔入料口最大尺寸时，只要分流孔供料满足型材出料量的需要就可以了。型材截面小、分流孔和焊合室尺寸过大，挤压时绝大部分金属挤入堆压在分流孔和焊合室内，边缘金属置于“死区”位置，一是压死在焊合室内不流动，一是金属横向张力压迫模具四周，模具容易破裂。若把边缘金属置于焊合室内，倒不如把它置于分流孔处模面上。分流孔和焊合室合理设计小一点，把金属流动“死区”置于上模分流孔外模面上，减少金属对模具的横向张力，从而保护了模具。同时，使进入分流孔和焊合室内的流动金属集中、有效地进入型腔。

100 mm×44 mm 方管模的设计大体与 100 mm×25 mm 的相同。不同点是前者的模芯支承面积大，受压面积大，易造成断桥。为此，应减少支承模芯处的受压面积，把大面两分流孔间的尺寸缩小，大面分流孔靠模芯支承部位侧面设计成斜度，以减少平面压力，此法收效明显。

## 2.2 平开门下方模设计 (见图 15.4-12)

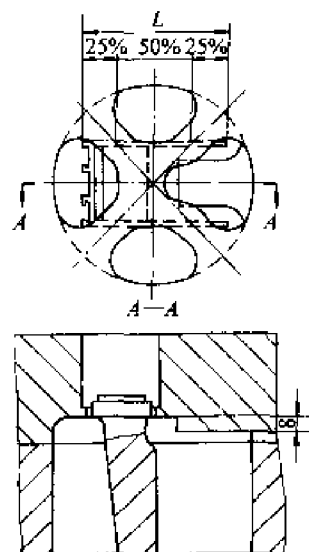


图 15.4-12 平开门下方模设计

1) 型腔在模具中的布置 平开门下方型材在 8MN 挤压机上生产, 模具尺寸为  $\phi 180 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$ , 挤压筒直径为  $\phi 120 \text{ mm}$ 。这种型材一半是方孔, 另一半是开口处伸出两条长腿, 其在模具中的摆放位置是设计的首要问题, 一是方孔部位于模具中心, 此时方孔四周出料成形当然较好, 但两腿必然伸出焊合室边缘外, 严重偏心, 总体上看这样摆放位置显然不合理; 二是把型材长度中线置于模具中心, 方孔偏边, 中部拉肋处于模具中线上, 此时型腔对挤压中心, 分流孔金属对各部的供料较合理, 这种摆放方法可取, 但也需注意解决拉肋的供料问题。

2) 分流孔形式的确定 型材宽厚比不大, 它的外接圆尺寸在直径 110 mm 直壁分流孔和焊合室之内, 且单边距离尚有 8 mm 以上, 分流孔不需扩孔, 故确定采用圆形直壁式分流孔和焊合室的设计方案, 具体设计如下:

1) 大面分流孔向大面中间 50% 部位供料, 两端各 25% 由两端分流孔供料, 分流桥按交叉十字形平行桥设计。

2) 型腔中间肋条供料问题, 肋条处于模具中线上, 大面分流孔对大面中间部位供料较理想, 它同时可满足到中间肋条两端各 20% ~ 25% 部位; 但此时肋条 50% 的中间部位供料就十分困难, 严重缺料会导致肋条中间流速特别慢而出现凹口, 这凹口的拉应力又影响大面和两腿的成形度。解决这个问题的办法是在型材开口一端的分流孔往中心作圆形扩孔, 直至肋条边部 5~6 mm 位置, 这样一来, 肋条中间 50% 部位的供料问题就完全解决了。

3) 压线槽一端处于分流孔金属直冲方向, 理应设置阻流, 但这部分型腔一是距中心较远和在焊合室边缘, 流速慢; 二是端面型腔壁压线槽有四个勾形块, 由于多面摩擦产生拉应力和供料需求量稍多一点等因素, 使这部位的流速不会太快。这样, 将下模这部位的工作带稍加长一些即可, 无需考虑阻流。

4) 设计时, 开口两腿流速不宜太快。为了加强开口悬臂强度和方便修模, 在下模焊合室两腿间设一块厚度为 8 mm 的长方块。若两腿流速稍慢时, 只要在长方块两侧打成斜度即可, 无需在型腔上面打磨修模。

5) 设计时, 分流孔之间受压面积尽量小一点, 桥宽设计为 18 mm, 便于焊合, 也不会断桥。

## 2.3 90°窗下方模设计

图 15.4-13 为 90°窗下方模改进设计方案, 具有如下特点:

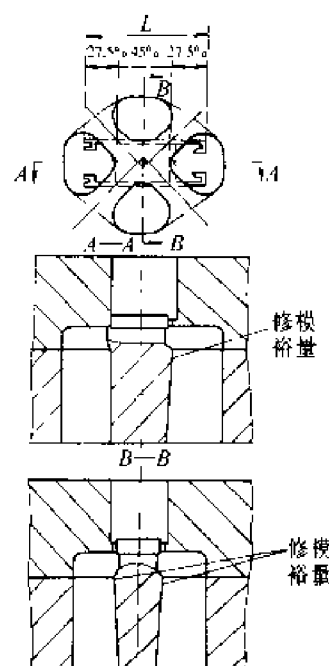


图 15.4-13 90°窗下方模设计

1) 分流孔和焊合室越大, 死区范围越大, 处于死区的金属只起填充作用, 不对模孔供料, 还会使金属产生紊流, 干扰金属在模孔中的正常流动。为此, 在改进模具设计时, 首先考虑将分流孔和焊合室缩小。根据经验设计, 模孔外接圆与焊合室边缘距离有 10 mm 就能满足供料要求, 使有效流动的金属尽量接近模孔。

2) 型材截面的宽厚比为 2.7, 把焊合室由原来的梅花形改为橄榄形, 减少处于死区的金属进入焊合室内。

3) 缩小分流孔之间支承模芯的端面面积, 使靠中心流动较快的金属比较顺利地进入模孔。

4) 小端分流孔两边模桥中线 90°夹角圆心偏 3 mm, 使大面分流孔横面稍厚一点, 让金属供应达到大面 45% 左右, 两端各 27.5% 部分各由小端分流孔直冲供料。设计时, 这两端工作带适当加长一点, 略减慢两端流速便于修模调整。

5) 大面分流孔靠模芯侧壁作一阻流斜度,

至模芯工作带下颈部约 8 mm 处用圆角  $R$  连接, 这部位的作用为修模裕量, 便于调整大面中间部位金属流速。

6) 两端分流孔模桥边用圆角  $R$  连接, 使横肋条中间部位处于金属直线流动, 满足了供料, 使其流速与大面流速基本平行, 为预防横肋条流速过快, 给小端分流孔靠模芯侧壁作一阻流小斜度, 当流速稍慢时, 方便修模。

7) 采用偏心十字平桥, 桥宽取 16 mm, 便于焊合, 防止大面出现焊合线。

经过上述较大的改动后, 第一批试制的 5 套模具 (壁厚为 0.8 mm) 在 6MN 挤压机挤压, 全部不用修模, 料头平齐, 成形效果好。把 6MN 挤压机的模具设计移到 8MN 挤压机上 (现在很多铝型材厂把 6MN 和 8MN 挤压机的模具做成通用), 仅模具外形尺寸加大, 其余尺寸不变, 两种模具使用效果基本一样。

## 2.4 大壁厚差型材模设计

100 门企等型材属于壁厚差大的型材, 该型材外形尺寸接近于 100 mm × 44 mm 方管, 根据 100 mm × 44 mm 方管模的设计实践, 首先决定采用橄榄形分流孔和焊合室的设计方案。

夹玻璃位置处于小分流孔金属直冲方向, 流速快和悬臂截面小, 可能容易断裂, 在焊合室中置一舌形加强肋, 一是加强悬臂小截面强度, 防止断裂, 二是用于阻流和便于修模。

另一端属半月形状, 最大厚度为 4.5 mm, 其它为 1.6 mm, 厚薄差近 3 倍。如何解决半月形部位流速问题是设计的关键。

半月形处于小端分流孔金属直冲方向, 流速较快。加长下模这部位工作带长度, 增加摩擦力使之减慢流速, 那么模芯长度最少要与下模这部位工作带长度相等或更长些。不过即使因此解决了半月形部位的流速问题, 但其他薄壁部位因为模芯加长增加摩擦力反而使流速变慢。把模芯设计成与各部位对应的不同长度会出现流速互相干扰, 影响薄壁部位成形度和给修模带来困难, 故决定在上模设计成“跳台式”阻流带 (图 15.4-14), 即在上模模芯工作带下颈部 6~8 mm 处设一条半月形阻流带, 其宽度伸出到下模半月形腔边, 使直冲的金属在阻流带的阻挡下, 转个弯后再进入厚部型腔, 这样一来流速大大减弱。这

种阻流方法十分有效。

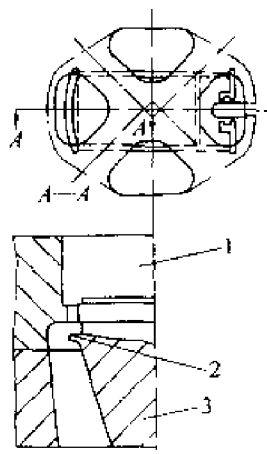


图 15.4-14 门企模跳台式阻流带设计

1—下模 2—跳台阻流带 3—上模

模具试挤时, 全部薄壁部位流速均匀, 仅半月形位置稍慢, 后在半月形阻流带上打磨一下, 第 2 次上机料头全部并齐, 型材成形度极佳, 达到了预期的效果。

## 3 半空心型材挤压模设计

### 3.1 舌比概念

式 (15.3-12) 给出了半空心型材舌比的定义。

在设计中, 对悬臂型材往往遵守这样的规则: 即对一定宽度的型材其“舌比”值不能超出某一经验值, 否则, 模具将会损坏。如当  $W$  为 1.58~3.15 mm 时 (图 15.3-40), 模具的舌比值应小于 2。而对某些型材其舌比值如超过这一经验值, 在设计时, 只能对模孔悬臂根部的空刀量加以减少, 增加悬臂部分的支撑厚度来提高其强度。

实际上, 采用这种方法加工的模具在生产中常常使用, 但是, 由于挤压压力经过铸锭直接作用在悬臂的表面上使其在长度方向上呈轴向弯曲, 在悬臂根部的上方受拉应力, 在下方受压应力。当悬臂呈弹性变形时, 支撑边的对边壁厚就会减小, 其减小量随着挤压力的变化而变化, 型材的壁厚难以控制。当挤压力较大时, 悬臂会出现塑性变形, 挤压终结时, 悬臂部分呈轴向弯曲, 不能恢复。在挤压过程中, 模具的温度逐渐上升, 模具的强度明显降低, 这对模具的作用极

为不利。最严重时(如铸锭温度偏低而使挤压上升),作用在悬臂表面的正压力急剧上升,在悬臂的根部发生断裂导致模具的报废。

综上所述,采用平模生产悬臂型材存在许多缺点,如质量难以保证,模具通过型材量低等。必须寻找出这类型材模具设计的最佳方案。

### 3.2 设计方法

从上面的分析可以看出,这种挤压模具的缺点在于悬臂表面裸露在外(相对于铸锭而言),挤压力直接作用在表面上,使其承受巨大的正压力而呈轴向弯曲。如果支撑边的相邻两边的壁厚不均,金属通过模孔的速度存在差异时,则悬臂还要发生径向弯曲,壁厚尺寸更难保证。实际上,距模具中心的距离不同,金属的流速始终存在着差异,最终也会影响悬臂的稳定性。

因而,在改进设计时必须做到以下两点。首先,减小作用在悬臂表面的正压力;其次,提高悬臂承压的强度。只有这样,才能达到提高模具使用寿命、提高制品质量的目的。实践中,采用分流模或保护模的形式来设计悬臂型材模收到了满意的效果。

#### 3.2.1 遮蔽式设计(图 15.4-15)

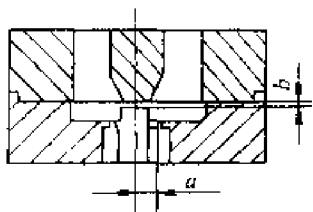


图 15.4-15 遮蔽式挤压模结构设计

这种设计是用分流模的中心部分遮蔽下模模孔的悬臂部分,下模的悬臂部分向上突起,其突起部分与悬臂内边的空刀量为  $a$ ,悬臂突起部分的顶面与上模模面留有间隙  $b$ ,用来消除因上模中心压陷后对悬臂的压力,从而稳定了悬臂支撑边的对边壁厚的偏差,较好地保证了型材的质量。

但是,由于悬臂突起部分相应地增加了金属的摩擦面积,悬臂承受的摩擦力增加,使其仍有一定的压陷。

此模与平模相比,作用于悬臂上的正压力通过上模的中心部分转化到上下模的接触面上去了,其受力状况得到大大地改善,基本上达到改进的目的。

#### 3.2.2 镶嵌式设计(图 15.4-16)

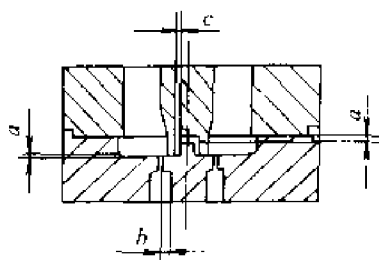


图 15.4-16 镶嵌式挤压模结构设计

这种设计是将上模舌头的中间挖空,而下模悬臂相对的位置向上突起,镶嵌在舌头中空部分里,悬臂突起部分的顶面与上模舌头中空部分的顶面的空隙  $a$ ,其值与舌头的表面和下模空腔表面的间隙值相等,做成这种形式同样是用来消除因上模压陷而造成对下模悬臂的压迫;悬臂突起部分的垂直表面(相对于模面而言)与舌头空腔的垂直表面有间隙  $c$ ,两表面处于动配合;舌头底端与悬臂内边的空刀量为  $b$ 。

这种方法具有了遮蔽式分流模的优点,同时,也克服了因金属对裸露的悬臂突起部分的摩擦所带来的悬臂下陷的缺点,金属对舌头表面的摩擦力转化为对上、下模接触面的正压力。因此,悬臂的受力状况进一步得到了改善,只要合理地选取空刀量  $b$  值和  $a$ 、 $c$  值便能达到生产合格型材的目的。

#### 3.2.3 替代式设计(图 15.4-17)

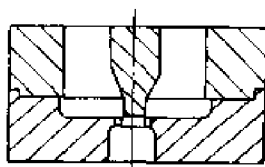


图 15.4-17 替代式挤压模结构设计

这种方法完全将下模的悬臂取消,而用上模的舌头取而代之。在原悬臂的根部处,用舌头与下模空腔表面互相搭接,完成悬臂的完整性,其形式完全同分流模一样。这种模具更适合那些“舌比”值很大,用以上两种方法都难以生产的型材。这种模具较以上两种模具更为简便,使用寿命更长。

下面以 EL1297 为例详细说明替代式分流模的结构设计。

如图 15.4-18 所示,EL1297 为悬臂型材,形状

如图中虚线所示,悬臂边宽度仅11.1 mm,舌比值为10,壁厚2 mm,因而在设计时采用替代式分流模结构。设计时,把型材的两个圆形部分的中心连线作为舌头与下模空腔表面的搭接处,舌头上的半圆弧和下模模孔中的半圆弧在上下模装配后组成完整的圆形;在搭接处的上方(在下模空腔内)舌头向外突出一块长度与搭接处的宽度相等的窄条,覆盖在搭接的缝隙上,并且窄条与空腔表面有间隙 $a$ 。在挤压时,因上模受压而闭合。舌头为凹台式。焊合腔内的设计同分流模相似。

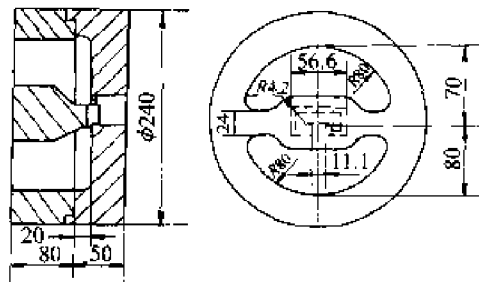


图 15.4-18 EL1297 型材模具设计实例

由于搭接处正好处于圆弧上,两模装配时又要组成完整的圆形,因而给模具加工增加了一些难度。

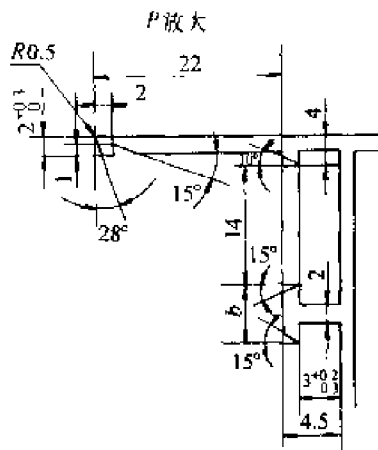
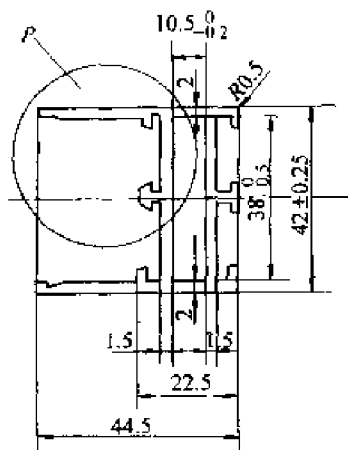


图 15.4-19 M217-105 型材标准

M217-105 型材在 25MN 油压机的  $\phi 200$  mm 筒上正向挤压,挤压工艺参数见表 15.4-1。

表 15.4-1 挤压工艺参数

铸锭规格 /mm×/mm	挤压系数	筒温 /℃	模温 /℃	铸锭温度 /℃	挤压速度 /m·min <sup>-1</sup>
$\phi 192 \times 680$	48	450	450	490	15~18

通过对模具加工质量的严格控制,模具加工基本上达到设计要求。上机挤压、面型良好,外形尺寸达到技术要求,使用效果比较满意。

以上三种设计方法是在实践中逐渐摸索而来,每种方法都有一定的适用性,可根据型材形状、舌比值和壁厚灵活选用。

同时,在结构上还可以有一定的改进,使其应用更加广泛。如替代式分流模的设计可以根据实际情况做成两个舌头或多个舌头,其中一个舌头与下模空腔表面搭接,其他的舌头悬空。分流孔还可以做成三孔或四孔。

4 双孔平面分流模设计

M217-105 是 42 系列门窗型材,市场需求量很大。以前在 20MN 和 8MN 油压机上均采用单孔模挤压,为了提高产品产量,降低成本,决定在 25MN 油压机上采用双孔模挤压,现将双孔平面分流模设计、试制过程分析如下。

4.1 挤压工艺的确定

M217-105 型材标准见图 15.4-19,材料及合金状态为 6063-T5,截面积  $S=3.27 \text{ cm}^2$ 。



## 4.2 设计参数的确定

1) 分流孔和分流比 分流孔的布置方式及其大小对于平衡金属流速, 减少挤压力, 提高焊接质量和模具寿命等都起着决定性的作用。

对于双孔模一般采用7个分流孔, 即四周6个分流孔, 中间一个公用分流孔, 如图15.4-20所示。7个分流孔的优点在于型材的各个面都正对分流孔, 供流比较充分, 且焊缝均位于型材的四个角, 可提高型材表面质量。不足之处在于中间分流孔的大小很难确定, 过大将会削弱模具强度, 且中间金属流动快; 过小又会使中间金属供流不足, 流速慢。并且, 中间分流孔过大或过小都将使芯头两边的金属产生压力差, 使芯头向两边或向中间偏移, 造成壁厚偏差。

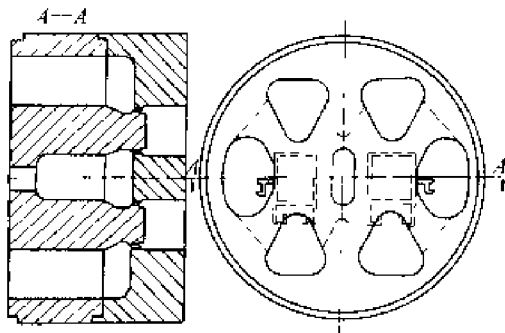


图 15.4-20 EL1413A 双孔模 7 个分流孔示意

EL1413A 双孔模最先采用的就是7个分流孔设计 (见图15.4-20), 设计时中间分流孔设计过小。上机试模, 中间金属供流不足, 流速慢, 两边金属压力大于中间的压力, 芯头在压力差的作用下, 向中间偏移了约 0.1 mm, 壁厚偏差 0.2 mm。修模时, 加大了中间分流孔, 但偏壁现象仍存在。

设计 M217 - 105 双孔模时, 借用了 EL1413A 的经验, 设计为4个分流孔, 并且在焊合室内设计了一个隔墙, 把两个孔隔开形成了两个独立的焊合室, 如图15.4-21所示。4个分流孔与7个分流孔相比, 有以下优点:

- ① 增大了分流孔面积, 降低了挤压力。
  - ② 分流孔数目减少, 焊缝减少, 提高了制品的力学性能和表面质量。
  - ③ 模芯易加工。
  - ④ 焊合室内设计了隔墙, 提高了模具强度。
- M217 - 105 为上下对称型材, 4个分流孔设

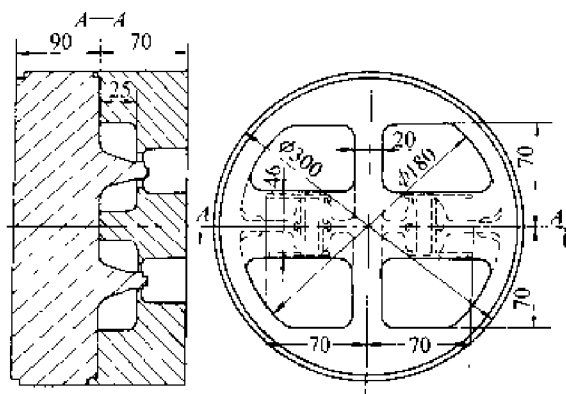


图 15.4-21 M217 - 105 分流模设计

计为上、下左右对称, 见图15.4-21。

由式(15.3-23)知, M217 - 105 模具的分流比为

$$K = \frac{\sum A_i}{A_f} = \frac{12\ 128}{2 \times 3.27 \times 100} = 18.54, K \text{ 在合理的范围 } 10 \sim 30 \text{ 之内。}$$

2) 分流桥 分流桥的结构和桥宽对金属流速, 焊缝质量, 焊合室压力和模具强度都有较大影响。

分流桥宽度的确定从加大分流比, 降低挤压力方面来考虑, 应取小些, 但从提高模具强度方面考虑应选大点。

根据型材特点综合考虑, M217 - 105 的分流模设计如图15.4-22所示。分流桥截面选择为矩形、倒三角形, 有利于金属的流动与焊合, 且易加工。

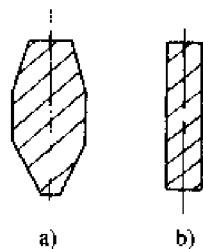


图 15.4-22 分流桥结构示意图

分流桥宽度选择窄点, 有利于增大分流比, 并且焊合室内设有隔墙, 对分流桥起了支承作用, 因此桥宽选择为 20 mm, 分流桥截面选为矩形。

3) 焊合室 焊合室的大小和高度对制品焊缝的质量有很大影响。M217 - 105 的焊合室设计在下模。

当分流孔的数目大小确定后, 焊合室的大小也相应确定, 设计为两个外形大小一致的焊合

室。焊合室中间设计了一个隔墙,大大提高了模具强度。分流桥 A—A 两端设计了两个桥墩,见图 15.4-21,以缩短分流桥的跨度,增加了桥的强度,同时桥墩对降低下模该处的弹性变形也有好处。焊合室的高度以保证焊缝质量为前提,同时要保证模芯的强度,根据经验,高度  $H$  确定为 25 mm。

4) 模芯 根据芯头为长矩形的特点(见图 15.4-23),芯头  $A$  向两边较宽,设计为锥台式,因  $B$  向两边太窄,为增加芯头强度,防止芯头左右偏移,采用锥式。

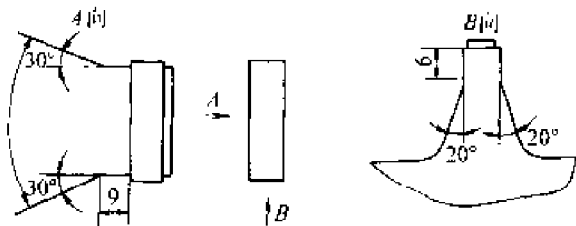


图 15.4-23 芯头结构

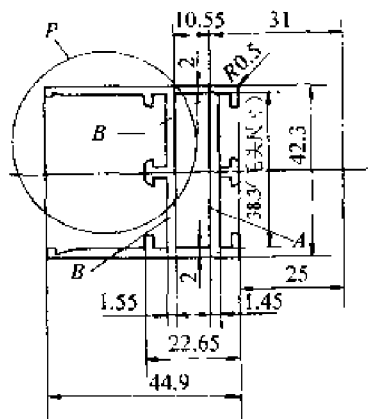


图 15.4-24 M217-105 模孔及芯头尺寸

悬臂起了支承作用,弹性变形可忽略不计。因而设计  $B$  边壁厚时只考虑了预变形量,  $B$  边壁厚设计为 1.55 mm。

③ 根据模孔和壁厚尺寸推算出芯头尺寸(见图 15.4-24)。

6) 模孔工作带长度 工作带长度确定时,首先考虑分流桥下,远离分流孔和挤压筒中心的模孔部位  $A$  部(见图 15.4-25),工作带长度确定为 2.5 mm,以 2.5 mm 做为起始工作带,根据模孔壁厚、位置逐渐推出其它部位的工作带。

7) 模垫及专用环 为了增加模芯的强度,减少

5) M217-105 模孔及芯头尺寸的设计

① 模孔外形尺寸

$$A = A_0 + KA_0 = (1 + K) A_0 \quad (15.4-1)$$

式中  $A$  ——模孔尺寸 (mm);

$A_0$  ——型材外形公称尺寸 (mm);

$K$  ——经验系数,对 6063-T5 合金,  $K$  取 0.01。

根据公式计算后,模孔尺寸见图 15.4-24。

② 壁厚设计(见图 15.4-24)。因分流孔上下对称,型材上下对称,上下壁厚相同,设计壁厚为 2 mm。  $A$  边靠近挤压筒中心,金属流动快产生的压力也较大,芯头在压力差的作用下将向左右偏移。因而设计  $A$  边壁厚时,考虑了 0.05 mm 的预变形时,壁厚设计为 1.45 mm。  $B$  边壁厚设计时,本应考虑  $B$  边悬臂的弹性变形,但由于悬臂位于分流桥下,悬臂所受压力大大降低,另外分流桥两端的两个桥墩增加了悬臂部位的强度,减少了  $B$  边的弹性变形,模垫及专用环对

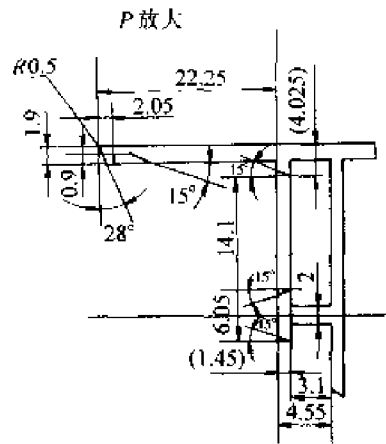


图 15.4-25 模孔工作带示意图

弹性变形, M217-105 除设计了模垫外,还采用了专用环(见图 15.4-26)。

8) 模具外形 M217-105 用  $\phi 200$  mm 筒挤压,模具外形尺寸可按常规选择  $\phi 240$  mm,但

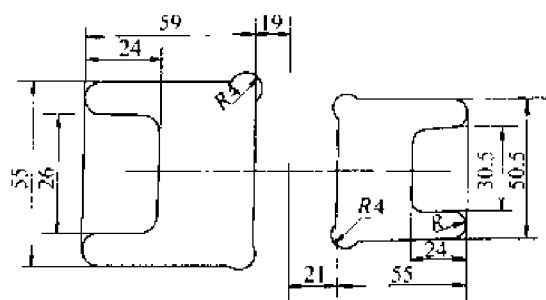


图 15.4-26 模垫及专用环尺寸

a) 专用环 b) 模垫

由于模芯为双芯头设计,为提高模具强度,模芯外形选择为  $\phi 300$  mm,上模厚度确定为 90 mm。(见图 15.4-21)。模具外形规格见表 15.4-2。

表 15.4-2 模具外形规格 (mm)

序号	名称	规格
1	上模	$\phi 300 \times 121$
2	下模	$\phi 300 \times 76$
3	模垫	$\phi 300 \times 40$
4	专用环	$\phi 420 \times 100$

### 4.3 分流模强度的校核

分流模的强度主要是针对分流桥,把分流桥看成是一个受均匀载荷的简支梁,对其进行危险截面的抗弯和抗剪强度校核。

1) 抗弯强度校核 抗弯强度校核公式

$$H = L \sqrt{\frac{p}{2\sigma_{bbp}}} \quad (15.4-2)$$

式中  $H$ ——模芯危险截面处计算厚度即分流桥的计算高度 (mm);

$L$ ——分流桥上两桥墩之间的长度 (mm);

$p$ ——挤压筒最大比压 (MPa);

$\sigma_{bbp}$ ——模具材料在工作温度下的许用弯曲应力 (MPa),对 4CrMoSiV1 钢在 450℃ 以下时,取  $\sigma_{bbp} = 1\,000$  MPa。

$$H = 140 \times \sqrt{\frac{75.8}{2 \times 1\,000}} \text{ mm} = 86.3 \text{ mm}$$

模厚度为 90 mm,因而是安全的。

2) 抗剪强度校核 抗剪强度校核公式

$$\tau = \frac{F}{nA} \leq \tau_{lp} \quad (15.4-3)$$

式中  $\tau$ ——切应力 (MPa);

$F$ ——分流桥端面上所受的总压力 (即单位面积所受压力之和) (N);

$A$ ——以分流桥最危险截面桥宽为长度、以模子厚度为高度所组成的总面积 ( $\text{mm}^2$ );

$n$ ——分流孔数;

$\tau_{lp}$ ——模具材料在工作温度下的许用切应力 (MPa),对 4Cr5MoSiV1 钢在 450℃ 时取  $\tau_{lp} = 1\,000$  MPa,则  $\tau_{lp} = (0.5 \sim 0.6) \tau_{lp} = 500 \sim 600$  MPa。

$$F = pS$$

式中  $p$ ——模子所受的压强 (MPa);

$S$ ——以分流桥最短距离为长度、以桥宽为宽度组成的总面积 ( $\text{mm}^2$ )。

$$F = \frac{25\,000\,000 \times 0.8}{100^2 \times 3.14} \times (140 \times 46 + 140 \times 20) \text{ N} = 5.88 \times 10^6 \text{ N}$$

$$\tau = \frac{5.88 \times 10^6}{2 \times (0.046 + 0.02) \times 0.09} \text{ MPa} = 495.4 \text{ MPa}$$

$\tau < \tau_{lp}$ , 此模具强度是合格的。

### 4.4 模具材料

M217-105 模具材料选择为 H13 电渣重熔钢 (4Cr5MoSiV1),普通分流模经按常规热处理后,硬度要求达 47~51HRC, M217-105 双孔模对模具的强度要求比较高,因而要求热处理后硬度达 48~52HRC,并尽量靠上限。

### 4.5 M217-105 模具挤压试验

模具加热到 450℃,保温 2 h,上机挤压,挤压状况良好,两孔金属流速比较均匀,制品成形较好,角度、表面间隙、外形尺寸均符合公差要求。虽左右壁厚稍有偏差 (见图 15.4-27),因

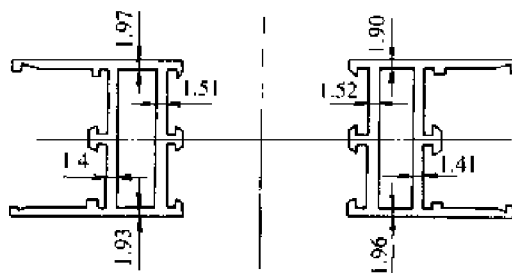


图 15.4-27 第一次试模的制品壁厚情况

中间金属流动较快,对芯头产生的压力稍大于两边压力,造成了芯头向左右偏移了0.07 mm左右,但壁厚偏差在公差允许范围内,属合格产品。

## 5 悬臂模设计

悬臂铝型材产品是指构成了半封闭形状的型材产品(图15.4-28)。加工该产品的模具在挤压过程中形成了受载悬臂梁,称为悬臂模具。由于模具在挤压过程中处于高温高压和间歇载荷的状态下,同时模具悬臂两侧的金属流动不平衡而产生的相对横向力等不利因素,如果模具设计不当,很容易使模具的悬臂部分变形或断裂。为此,本节针对舌比较大的不同悬臂形式、不同结构的模具设计方案加以分析介绍,并通过典型型材产品的模具设计实例叙述这方面的问题,以供设计者参考和选用。

### 5.1 导料板保护悬臂模

在模具前增设一定厚度的导料板对模具悬臂进行保护。具体地说,通过下述设计的导料板进料孔对金属进行重新分配(也可能是多次分配),以达到:①改善扁形产品在圆形挤压筒上挤压所造成的金属流动的不均匀性;②改善由悬臂产品

自身的模孔厚度差别大所造成的金属流动的不均匀性,使模具悬臂两侧横向载荷相近;③金属的两次变形能使金属对模孔的压力减小,即减轻了模具悬臂所承受的正压力,从而改善悬臂的受力状态,延长模具的使用寿命。

生产图15.4-28A<sub>1</sub>所示产品用的挤压筒直径为210 mm,产品结构特点为,产品有多个尺寸相同的大舌比的悬臂,外形尺寸特大,产品形状对称,壁厚均匀,属于多悬臂大舌比的超大型悬臂产品。在设计导料板进料孔的形状尺寸时主要解决圆型挤压筒的边部金属流动性差而导致悬臂两侧的相对横向载荷(指悬臂两侧横向所受流动金属的压力差)大的问题。该模具(见图15.4-29A<sub>1</sub>)采用了宽展、导流、阻碍方式的导料板结构对悬臂进行保护。导料板进料孔从中心到边缘呈扇形逐渐放大,边部斜稍宽展,中部设有遮盖分流墙。这样,既减弱了模具中心处金属的流动性,又避免了模具边缘金属‘滞后’问题的产生,同时防止了铸锭表面杂质侵入进料孔内。这种结构对金属重新分配,以调整模孔各部位的金属流动速度,使悬臂两侧的横向压力相近,从而改善了悬臂的受力状态,保证了悬臂强度。

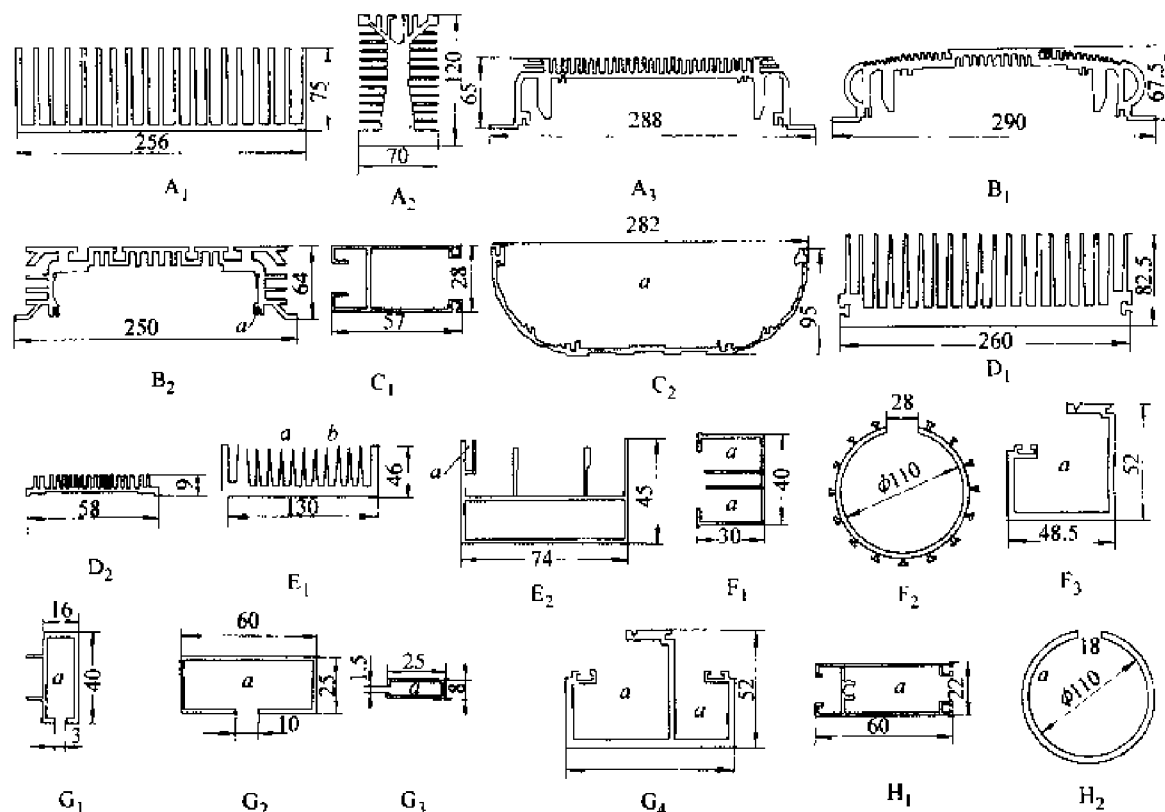


图15.4-28 型材截面形状

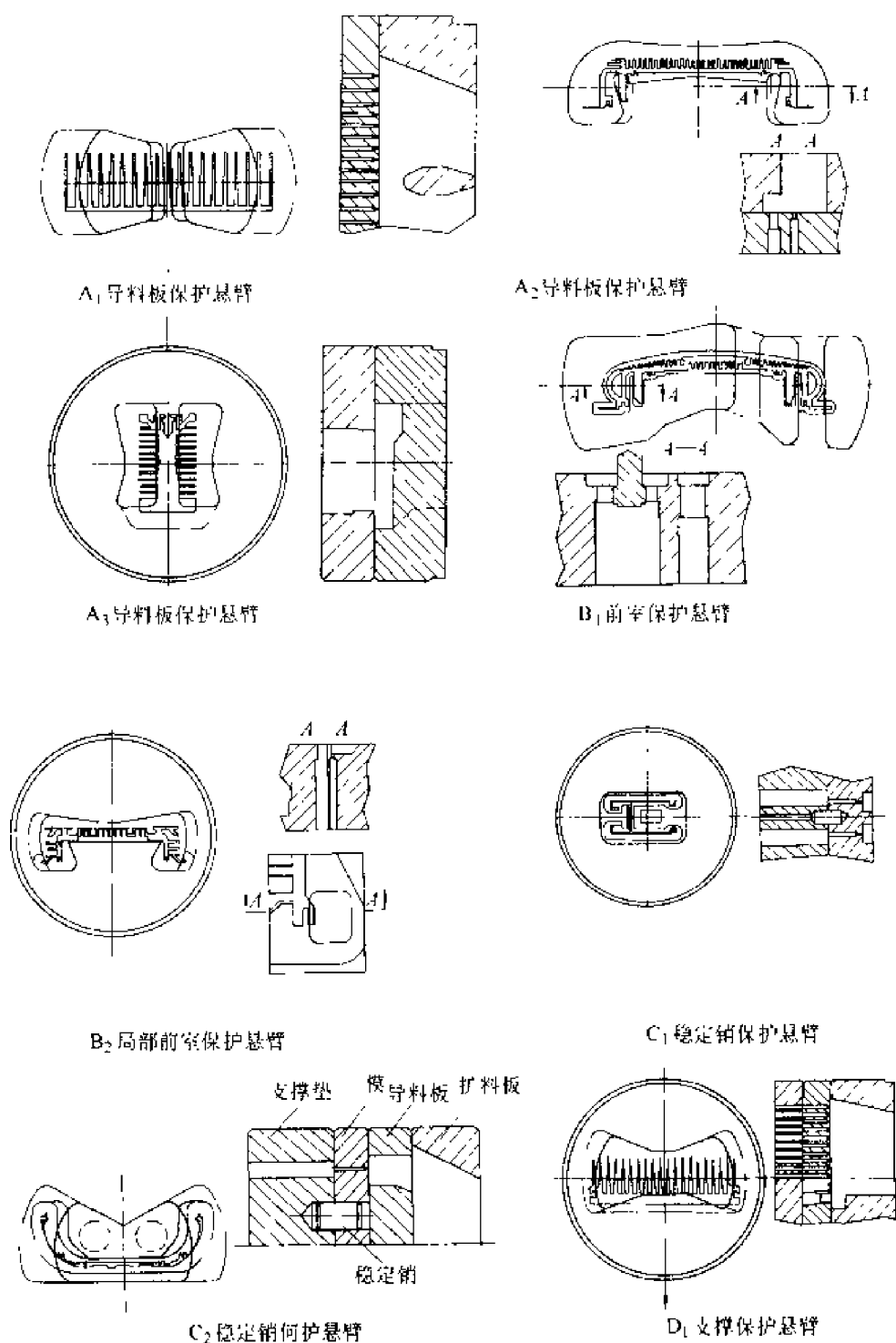


图 15.4-29 与图 15.4-28 型材截面对应的悬臂模具设计

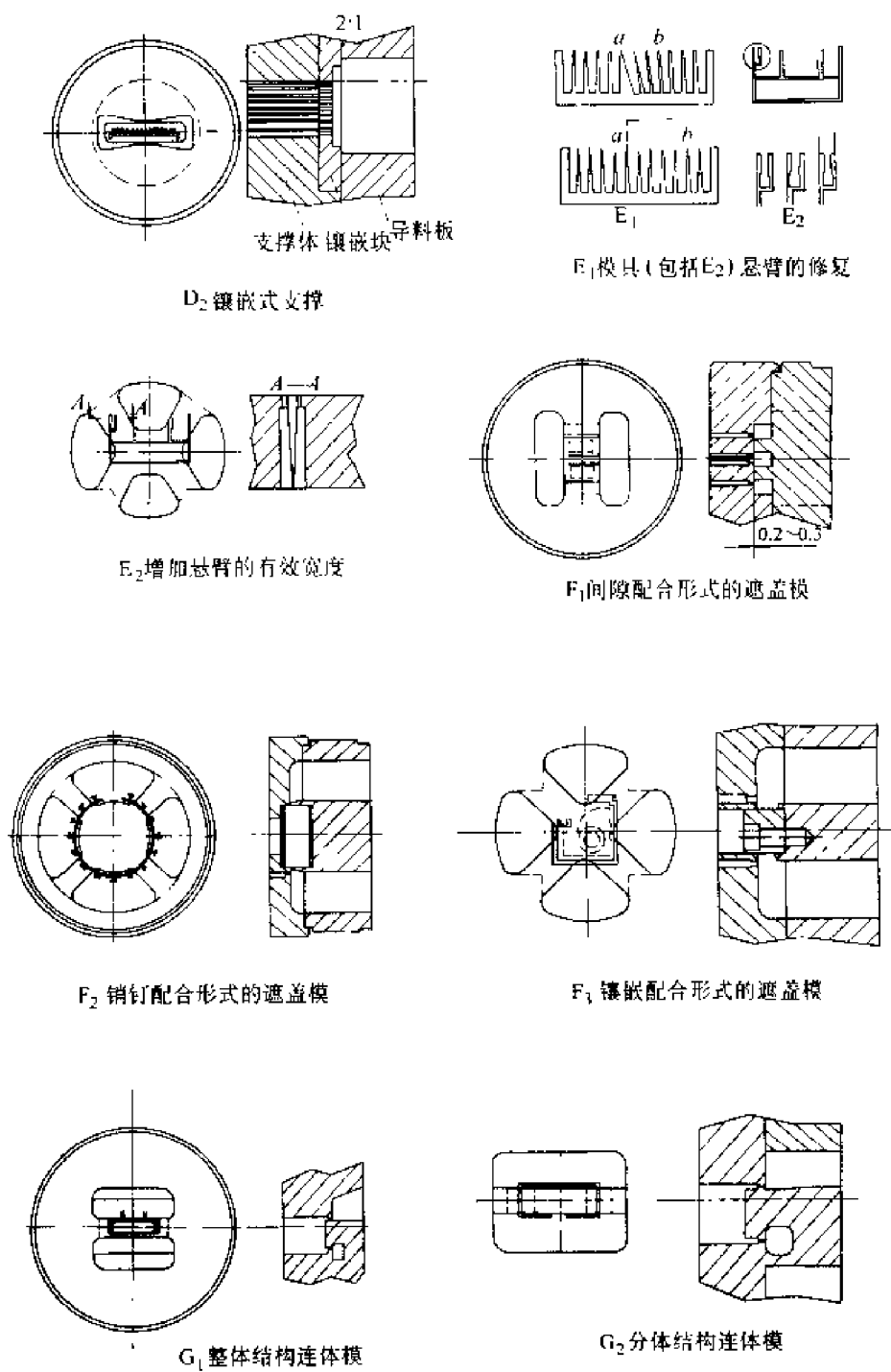


图 15.4-29 (续)

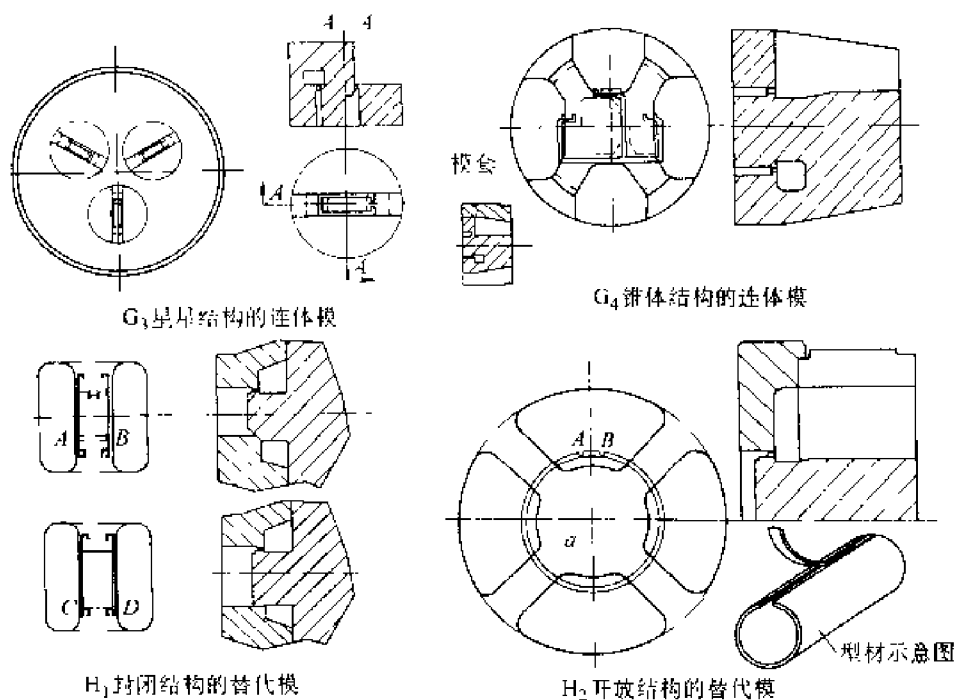


图 15.4-29 (续)

生产图 15.4-28A<sub>2</sub> 所示产品用的挤压筒直径  $\phi 210$  mm。产品特点如下：①中心实体部的面积和边缘散热齿部的面积相差过于悬殊；②散热齿位于金属流动相对弱的边部；③悬臂的数量多，舌比较大；④产品形状对称。设计导料板进料孔时主要解决产品自身厚度的不均匀性所导致的金属流动紊乱和因‘堵模’而产生的悬臂强度问题。该模具（见图 15.4-29A<sub>2</sub>）采用了遮盖导流形式的导料板结构对悬臂进行保护。模具导料板中部设有遮盖墙，以使模具中部面积相对大的模孔部位的金属流动滞后来减弱其金属的流动性。模具齿部的模孔直接位于导料板入料孔的下方，以提高齿部模孔金属的流动性。这样对金属重新分配可避免金属流动的不平衡和由此引发的‘堵模’所产生的压力急剧增加而导致的强度问题，从而保证模具悬臂的强度。

生产图 15.4-28A<sub>3</sub> 所示产品用的挤压筒直径  $\phi 210$  mm。产品特点如下：①悬臂的数量多，舌比大，悬臂的形式区别较大；②a 部悬臂两侧模孔厚度悬殊大；③产品尺寸超大，产品边部散热齿的模孔处于金属流动性差的模具边部；④产品左右方向对称。在设计模具导料板进料孔时，即要解决圆形挤压筒边部金属流动性差导致悬臂两侧的相对横向载荷大的问题，同时还要考虑产品

a 部悬臂两侧模孔壁厚悬殊大导致悬臂两侧的相对横向载荷大的不利因素。该模具（见图 15.4-29A<sub>3</sub>）采用了宽展、导流、遮盖式导料板结构对悬臂进行保护。进料孔面积从中心到边缘逐渐放大来增强边缘金属的流动性，使之与中心金属的流动保持一致。同时在 a 部悬臂处模孔厚度大的一侧设有遮盖墙，从而使这一侧金属流动产生相对“滞后”来减弱该处金属的流动。遮盖墙进料口处设有一定的斜度来进一步提高边部金属的流动性，最终达到金属的流动平衡和使悬臂两侧的相对横向载荷减少的目的。

导料板保护悬臂方法适用于悬臂数量多的形状复杂的大舌比悬臂产品。

## 5.2 前室保护悬臂模

此结构为在模具模孔前增设对金属进行再次分配的前室，使金属的流动进一步平衡，分配更加合理，从而减少悬臂两侧的相对横向载荷，保证模具悬臂的强度。

1) 整体前室结构 在模孔前增设一定厚度和相对模孔扩大一定尺寸的空间（即前室），利用前室的深浅和相对模孔的远近来保证金属流动的相对平衡和保证模具悬臂的强度。生产图 15.4-28B<sub>1</sub> 所示产品用的挤压筒直径  $\phi 390$  mm。

产品特点如下:①产品有封闭部分即为空心产品;②产品 $\alpha$ 部悬臂两侧模孔厚度相差大;③悬臂的数量多,舌比大;④产品形状复杂,属于大型悬臂产品。该产品的模具(见图15.4-29B<sub>1</sub>)采用了整体前室的结构对悬臂进行保护。设计时除了考虑产品空心部分的特定位置而使上模的进料分流孔从中心到边部逐渐放大外,还要利用下模的前室共同来改善金属流动的相对强弱,同时主要应考虑让前室对 $\alpha$ 部悬臂进行保护。为此将模孔厚度相对大的悬臂一侧的前室缩小到尽可能接近模孔而将悬臂另一侧的前室加大,这样对金属进行的重新分配能使悬臂两侧的相对横向力减小,以保证模具悬臂的强度。同样,对形状比较简单的平模的悬臂产品也可以利用增设前室的方法对模具悬臂进行保护。

2) 局部前室结构 此结构为在悬臂的一侧设置前室,而模孔的其他部位均不设前室。生产图15.4-28B<sub>2</sub>所示产品用的挤压筒直径 $\phi 210$  mm。产品特点如下:①产品的悬臂数量多而舌比大;②产品的整体形状复杂;③产品 $\alpha$ 部的悬臂开口宽度小(2.5 mm),悬臂两侧模孔厚度悬殊大;④产品开头对称。为此该模具(见图15.4-29B<sub>2</sub>)采用了局部前室结构对 $\alpha$ 部悬臂进行保护。设计时将导料板进料孔的尺寸从中心到边缘逐渐放大对金属进行第一次调整。同时对 $\alpha$ 部悬臂进行局部前室处理。处理方法:将模具悬臂两侧的模孔空刀保持一致,而在壁薄膜孔的一端设前室。这样挤压时进入前室的金属就对这一侧的悬臂增加了载荷,而利用前室的大小和深度来保证悬臂两侧所受的载荷接近或一致,从而减小悬臂两侧的载荷差保证悬臂的强度。同时,还利用前室的深度来调节前室这侧膜孔的有效工作带长度来保持悬臂两侧模孔金属流速的一致。此方案适用于悬臂两侧模孔厚度悬殊大,悬臂开口宽度小而整体形状复杂的产品。

### 5.3 稳定销保护悬臂模

如果模具悬臂形状允许,在悬臂处模具和支承垫之间增设一个或多个与该模具同材质的销钉,以使模具和支撑垫“连手”,尽可能成一体。利用稳定销来避免悬臂的失稳;或减小因悬臂塌陷与支承垫的相对错位,使弹性变形为一个常数,避免模具悬臂产生塑性变形。这样,既能加

强模具悬臂的强度和稳定性,同时也有效地保证了产品悬臂处的尺寸精度。

生产图15.4-28C<sub>1</sub>所示产品用的挤压筒直径 $\phi 110$  mm。产品特点如下:①产品壁薄,外型尺寸小,挤压时所需要的挤压力非常大,而且容易出现“堵模”;②舌比较大的悬臂会出现塑性变形和因失稳而产生的单边倒现象。为此该模具(见图15.4-29C<sub>1</sub>)采用了稳定销的方法来增加悬臂强度。设计时将稳定销设定于悬臂中央的位置同时也是模具的中心,其稳定销的大小根据悬臂的尺寸而定。此类型悬臂的稳定销距悬臂一侧模孔约5 mm左右。这种稳定销可使悬臂增加抗横向载荷的能力,同时也防止了悬臂的塑性变形和避免了垫与模的相对错位,保证了产品悬臂处壁厚尺寸精度,并延长了模具的使用寿命。

生产图15.4-28C<sub>2</sub>所示产品用的挤压筒直径 $\phi 260$  mm。产品特点如下:产品壁薄(2.5 mm),外形尺寸超大,已超出挤压筒的直径,产品属于薄大型悬臂产品。挤压该产品所需要的挤压力大,使得模具悬臂所承受的压力也大。为此该模具(见图15.4-29C<sub>2</sub>)采用了双稳定销的方法来增加模具悬臂的强度,以保证产品尺寸精度。模具由扩料板、导料板、模、支撑垫四部分组成。在模与支撑垫之间位于悬臂左右对称处设置两个稳定销,这样利用稳定销防止因模具变形而导致的模与支撑垫的相对错位和模具悬臂的塌陷,以保证产品悬臂处的壁厚尺寸精度,同时可大大提高该模具的使用寿命。

稳定销保护悬臂的方法适用于悬臂处有一定空间的大舌比悬臂产品。

### 5.4 危险悬臂截面增强方法

通过增加危险截面的抗弯截面系数即增加悬臂危险截面的宽度和高度来提高模具悬臂的强度。

1) 加大模具危险截面的厚度 在减少模具背面空刀量的基础上尽可能地加大危险截面的厚度,同时利用支撑垫对模具悬臂进行支撑,来保证模具悬臂的强度。图15.4-28D<sub>1</sub>所示产品特点如下:产品的悬臂数量多舌比超大;底板和散热齿的面积比悬殊大,而每个悬臂上存在的小波纹齿相对的降低了该部分的可挤压性。该模具(见图15.4-29D<sub>1</sub>)采用了相对增加模具厚度和增设



支撑垫对悬臂部分进行保护的方法来保证悬臂强度。此模具由对金属重新分配的导料板、空刀为0.6 mm的模、支撑垫三部分组成,该支撑垫的孔形与模孔孔形相对应(悬臂处沿模孔四周扩2~3 mm),这样支撑垫对模具悬臂就形成了支撑,相当于增加了悬臂危险截面的高度,从而提高了模具悬臂的强度。

2) 镶嵌结构 镶嵌模由三部分组成:①切有产品模孔孔型的镶嵌块作为模具的主体部分,而工作带尺寸靠镶嵌块前室的深浅来调节;②切有与模孔孔形相对应的镶嵌体为模具的支撑部分;③模具前另设置一块起固定镶嵌块和对金属重新调整的导料板。对于悬臂数量多、悬臂宽度小(一般小于2.5 mm)、舌比大的小型产品,可采用镶嵌模形式。生产图15.4-28E<sub>2</sub>所示产品(用的挤压筒直径 $\phi 78$  mm)的特点:悬臂全高4.5 mm;悬臂齿间距1.5 mm,属于大舌比的小型悬臂的产品。悬臂数量多,对称而形状相同。对比,常规的模具结构无法保证悬臂处模孔空刀尺寸的加工精度。如果空刀过大即悬臂危险截面过小或没有支撑时,则悬臂强度无法保证;如果空刀过小会使模具工作时出现堵模问题。为此该产品采用了镶嵌模结构(见图15.4-29D<sub>2</sub>)来解决,设计时:①导料板进料孔的孔形从中心到边部逐渐放大,使悬臂左右受力均匀(即减小悬臂的相对横向载荷),进料孔尺寸小于镶嵌块尺寸起固定镶嵌块的作用。②镶嵌块设有一定深度的前室保证模具有一定的厚度,避免镶嵌块产生大的淬火变形。镶嵌块的前室从中心到边部逐渐加深以调节模孔工作带的尺寸。③支撑体的悬臂支撑部分设有一定的斜度以便更有效地保证模具工作时不堵模。由于镶嵌模的模孔工作带靠镶嵌块前室深浅保证,不设模孔空刀,所以能有效地保证镶嵌块和镶嵌体在悬臂处的配合精度。这样即能保证模具悬臂的有效宽度和高度,又能防止模具工作时的堵模。

3) 增加危险截面的宽度 对于悬臂外型尺寸和开口尺寸小的产品,除了使模具有一定的厚度外,同时还要增加危险截面的宽度(即减少悬臂处模孔背面的空刀量),另外,一般空刀应有一定斜度。生产图15.4-28E<sub>2</sub>所示产品用的挤压筒直径 $\phi 155$  mm。产品特点如下:①产品的壁厚为1 mm,属于薄型产品,模具工作时承受的

挤压力相对增大;②产品有大舌比的悬臂( $\alpha$ 部)。为此,该模具(见图15.4-28E<sub>2</sub>)在处理 $\alpha$ 部小悬臂时,采用了增加悬臂的危险截面宽度的方法来保证此悬臂强度。设计时将 $\alpha$ 部悬臂两侧模空刀量减小为0.3 mm。为了防止因‘堵模’而所产生的压力急剧增加的现象,空刀应设有3°的斜度,这样增加了危险截面(即悬臂)抗横向弯曲的强度,避免失稳现象的产生,有效地保证了模具悬臂的强度。

### 5.5 悬臂损坏的修复

由于挤压条件非常恶劣,前述的方法保护悬臂虽然有效,但生产悬臂产品的模具在挤压一段时间后悬臂会产生弯曲或疲劳断裂。有时模具在工作中的堵模使悬臂的相对横向力急剧增加,也会使悬臂部分产生弯曲或断裂,使模具不能继续使用。为此最有效的补救方法是对损坏的模具进行修复重新使用。修复方法:将模具悬臂损坏的部分切下,镶嵌一替代块与模具焊接磨平,即完成了损坏悬臂模具的修复工作。如图15.4-28E<sub>1</sub>、E<sub>2</sub>所示产品是电子散热器型材系列和建筑型材系列中比较典型的悬臂产品。在生产一定吨位后,悬臂( $\alpha$ 部)出现了弯曲和断裂现象(图15.4-29E<sub>1</sub>)。为此对该损坏的模具进行修复的具体方法如下:首先查找悬臂弯曲或断裂的具体位置和具体数量→确定损坏模具切割的起点和终点(即 $a$ 、 $b$ 两点)→用同等厚度的废模具切割一替代块→替代块加工好模孔空刀和焊接坡口→加热模具→替代块镶嵌于模具切去的部位处→焊接磨平。经过实践证明:修复的模具不影响产品的质量,再生产的吨位不受此修复部分的影响,节省费用(修复一套模具的费用仅是一套新模具的3%~8%),修复周期短。

### 5.6 遮盖模

遮盖模为组合模具的结构形式,上模起分流、焊合、保护的作用,下模的模孔悬臂部分的位置设定于上模的遮盖保证之下。上模或下模沿悬臂的四周缩小一定空刀尺寸突出使之相互搭配,这样上模对下模的悬臂部分形成保护。遮盖模按悬臂部分的搭配方式可分三种。

1) 间隙配合 上模突起部分与下模悬臂部分留有用来消除上模中心弹性压陷的一定间隙。

图 15.4-28F<sub>1</sub> 所示产品悬臂开口 10 mm, 生产该产品的挤压筒直径  $\phi 130$  mm。产品特点如下: ①产品有两个对称的细长形的大舌比悬臂; 产品壁厚均匀形状对称。为此产品采用了遮盖模结构的间隙配合形式来保证模具悬臂的强度。设计时上模设有两个分流孔, 使模孔悬臂处于上模的遮盖下。上模突起部分按下模的悬臂的位置和尺寸而定, 并留有一定的空刀量, 悬臂处上下模之间留有 0.2~0.3 mm 的间隙量, 这样模具在工作时悬臂部分被上模保护, 减少悬臂上承受的压力。而所留的间隙量消除了因上模中心弹性压陷对悬臂产生的压力, 从而能达到保证下模悬臂强度的目的。此结构适用悬臂部分为细长的大舌比的悬臂产品。

2) 销钉配合 如果悬臂空间允许, 在上模突出部分和下模悬臂部分增设一个销钉, 并与之相互配合联接。图 15.4-28F<sub>2</sub> 所示产品壁厚 2.5 mm, 生产该产品的挤压筒直径  $\phi 185$  mm。产品特点如下: 悬臂受力的面积大; 悬臂的开口小; 产品厚度均匀, 属于超大舌比的中型悬臂产品。产品采用了遮盖模结构的销钉配合形式保证模具悬臂强度 (图 15.4-29F<sub>2</sub>)。设计时将起保护作用的上模设有四个分流孔, 使下模的悬臂位于其中央的遮盖下 (图 15.4-29F<sub>2</sub>)。上下模悬臂处的搭配方式与间隙配合的搭配方式相同, 只是在悬臂的中心部增设一个与模具同等材质的销钉。这样模具在工作时悬臂被遮盖, 使悬臂大部分面积不承受压力。同时增设的销钉消除了因遮盖部分和悬臂之间因存在的间隙而进料产生的压力, 并且销钉同时能起到稳定悬臂的作用, 从而保证了悬臂的强度。此结构适用于悬臂部分形状规则并有一定空间的大舌比的悬臂产品。

3) 镶嵌配合 上模突起部分与下模悬臂部分轴孔配合, 即将下模沿悬臂内周一定尺寸切去一部分作为孔与上模的突起部分配合, 配合形式为间隙配合。生产图 15.4-28F<sub>3</sub> 所示产品用的挤压筒直径  $\phi 155$  mm。产品主要特点: 产品悬臂的形状比较复杂, 悬臂的舌比大。该模具 (见图 15.4-29F<sub>3</sub>) 即采用了遮盖模结构的镶嵌配合形式对悬臂进行保护。模具上模设有四个分流孔, 下模的悬臂位于其中央的遮盖下; 下模悬臂的中央处沿悬臂内周切去一部分, 并把切下的部分焊接在上模相对应的位置上; 上下模配合后在悬臂

处形成了轴孔配合。这样模具悬臂减少了切下部分的受力面积, 这部分面积等于转嫁给了上模; 同时, 上模突起的这部分又能增加悬臂的稳定性, 从而达到保证下模悬臂强度的目的。此配合形式适用于悬臂部分为形状不规则的大舌比的悬臂产品。

遮盖模结构由于悬臂受上模的保护而减小了悬臂上承受的压力, 可有效的保证模具强度, 延长模具寿命。该模具结构加工相对复杂, 对于开口表面质量要求高的大舌比产品可采用此结构。

## 5.7 连体模

连体模与遮盖模结构基本相同, 其区别是: 起遮盖作用的上模或遮盖部分与下模是一体的。连体模按结构的形式可分四种。

### (1) 整体结构

该模具结构并非是组合模形式, 起分流遮盖和保护作用的上模与带有模孔的下模是一个整体, 并且将上模的遮盖部分和下模的悬臂部分也连成一体。生产图 15.4-28G<sub>1</sub> 所示产品用的挤压筒直径  $\phi 105$  mm。产品特点: 产品形状对称, 壁厚均匀, 悬臂的舌比超大, 为薄小型悬臂产品。此模具即采用了连体模的整体结构形式保护悬臂。模具 (见图 15.4-29G<sub>1</sub>) 设有两个进料分流孔, 悬臂位于“桥”的遮盖下, “桥”与悬臂为一体, 其连接体沿悬臂内侧设有一定量的空刀, “桥”的两端下部设有焊合室。此结构适用于小型挤压机加工薄小型大舌比的悬臂产品。

### (2) 分体结构

只将遮盖保护部分与悬臂设计成一体, 再与其他部分配合组成连体模。生产图 15.4-28G<sub>2</sub> 所示产品用的挤压筒直径  $\phi 155$  mm。产品属于超大舌比的薄型悬臂产品。该模具即采用了连体模的分体结构形式保护悬臂模。模具 (图 15.4-29G<sub>2</sub>) 由两部分组成, 模具的下模根据产品形状尺寸跨过悬臂突起一长方体为悬臂的保护部分, 悬臂位于保护体的遮盖下并且是相互连接的, 在保护体的两端设有供料焊合室。保护体与悬臂的连接体尺寸为沿悬臂四周缩小一定量的空刀。上模只设有外接圆小于挤压筒直径的长方孔。上下模配合即形成了双分流孔的连体模。此模具结构的特点是分流孔腔内残料易于清理, 易试修模, 适用于挤压中型的超大舌比的悬臂产品。

### (3) 星星结构

将模体的外形设计成柱体或锥体与模具主体配合成多孔连体模。生产图 15.4-28G<sub>3</sub> 所示产品的挤压筒直径  $\phi 155$  mm。该产品属于超大舌比的薄小型悬臂产品, 此产品即采用了连体模的星星结构的设计方案(见图 15.4-29G<sub>3</sub>) 保护悬臂。模具由三个柱状的单元体组成, 可同时挤压三根产品。该单元体位于外接圆直径小于挤压筒直径的圆周内, 以避免铸锭表面的杂质侵入模腔内。每个柱状单元体的上部留有一长方形的保护体。保护体与悬臂相互连接, 连接部分留有相对悬臂的一定量的空刀, 保护体两端下部设有进料焊合室。每个单元体与模具母体配合后形成了双进料分流孔的连体模结构。单元体和母体的进料口处设有局部斜度以避免模具“拔模”时将单元体带入挤压筒余料中。单元体和母体采取间隙配合以便于单元体的更换, 同时还可实行更换法试修模, 能大大缩短非工作时间的占用。此结构可降低大吨位产量的模具费用, 此设计方案适用于超大舌比的薄小型悬臂产品。

### (4) 锥体结构

模体外形设计成锥状再与专用模套配合成完整的连体模。生产图 15.4-28G<sub>4</sub> 所示产品用的挤压筒直径  $\phi 135$  mm。该产品形状不对称, 壁厚基本均匀, 产品有两处超大舌比的悬臂。此产品即采用了连体模的锥体结构设计方案(见图 15.4-29G<sub>4</sub>) 保护悬臂。模具由模体和专用模套两部分组成。该模体的进料分流孔设计成四个扇形状并随着锥体从上到下容积逐渐放大, 悬臂位于遮盖体之下, 并互相连接。连接体有相对悬臂尺寸的空刀量, 模体的四角处设有焊合室。锥体上端直径小于挤压筒直径, 以防止铸锭表面杂质侵入模腔。锥状模体与专用模套采取间隙配合, 并形成锥边角度的宽展以提供金属焊合容量的需要, 锥度配合还可避免“挤压拔模”时模和套的松动。此结构焊合室容易加工, 适用于挤压超大舌比的相对大型的悬臂产品。

由于连体模遮盖保护部分与悬臂是一体的, 可共同承担挤压力, 转变了悬臂的受力形式, 同时也增加了危险截面的稳定性, 可使模具的使用寿命大大延长。连体模结构变化多, 既可以挤压多孔薄小型悬臂产品, 又可挤压单孔大型悬臂产品。产品开口处的表面质量容易保证, 但模具加

工较复杂, 所保护的悬臂的数量受限制。

## 5.8 替代模

此结构是将下模的悬臂完全取下或部分取下, 由上模的舌头代替而形成分流组合模形式的替代模。其上模分流孔的形状、大小和数量取决于取下那部分悬臂的形状、大小和数量。取下部分的位置取决于产品的用途要求和便于产品的生产。在悬臂取下部分的根部位置上模舌头与中模模孔相互搭接配合。按搭接配合的形式其结构可分成两种。

1) 封闭结构 上模舌头和中模模孔搭接后此处为封闭面, 即模具工作时, 此处的配合面上没有流动的金属。生产图 15.4-28H<sub>1</sub> 所示产品用的挤压筒直径  $\phi 135$  mm。产品形状对称, 壁厚均匀, 属于大舌比的薄形悬臂产品。此产品采用了替代模的封闭结构的设计方案(见图 15.4-29H<sub>1</sub>) 来保证模具强度。模具由上下模两部分组成(即为组合模形式)。其 AB 分割线即为上下模的配合的部位。AB 分割线位置的设定应能使产品易于挤压, 模具易于加工。上模的舌头和下模的模孔在 AB 分割线处  $45^\circ$  搭接。配合间隙量为  $0.3 \sim 0.5$  mm。模具在工作时, 上模产生的弹性塌陷可以使此处的配合面压紧而封闭, 这样产品在此处不会出现毛刺和由此引起的金属流动不平衡问题。同样我们也可将 CD 作为分割线, 由于上下模在 CD 分割线处  $45^\circ$  的配合方式加工困难而无法实现, 只能在此处进行  $90^\circ$  配合(其它形状的产品也有类似的问题)。如果能保证此处的加工精度, 同样也能获得合格的产品。此结构适用于一般精度的产品, 产品的开口表面质量受模具配合处加工质量的影响很大。

2) 开放结构 上模舌头和中模模孔搭接后该处不是封闭面, 即模具工作时此处的配合面有流动的金属。此结构加工的型材需将多余部分裁剪下去才能获得最终产品。生产图 15.4-28H<sub>2</sub> 所示产品的挤压筒直径  $\phi 210$  mm。该产品属于超大舌比的大型悬臂产品。因产品用做气缸体面要求的圆度和开口精度极高, 为此该产品的模具(见图 15.4-29H<sub>2</sub>) 采用了替代模的开放结构来保证模具悬臂强度和提高产品精度。同样, 模具由上下模两部分组成,  $\alpha$  部为上模舌头的形状。上模舌头和下模模孔的配合面的边缘 AB 两点处

的配合间隙量为0.5~0.7 mm,而其余部分的间隙与产品壁厚厚度相近。这样,该模挤压的型材为全封闭的(即为空心材),可在上模的舌头上设有整形结构用于保证产品的圆度,同时开口精度也易于保证。型材加工后再将产品的多余部分用专用设备裁剪下去。此结构适用于产品精度高的超大舌比的悬臂产品。

由于替代模悬臂部分被上模舌头替代,悬臂也就自然不存在了,所以模具的寿命不受悬臂舌比大小的影响,但加工复杂,加工精度要求高,产品的质量受模具加工的质量影响很大。

## 5.9 悬臂模强度计算

模孔悬臂强度的计算公式

$$\tau = \frac{qA}{bh} \quad (15.4-4)$$

表 15.4-3 4Cr5MoV1Si (H13) 钢的短时高温力学性能

室温下洛氏硬度 HRC	试验温度 /℃	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ /MPa	伸长率 $\delta_5$ /%	截面收缩率 $\varphi$ /%
52 <sup>①</sup>	425	1 625	1 240	13.7	50.6
	540	1 305	1 000	13.9	54
	595	1 020	825	17.5	65.4
	650	450	340	28.9	88.9
48 <sup>②</sup>	425	1 400	1 150	15	69.9
	540	1 160	960	17.1	62.4
	595	940	750	18	68.5
	650	455	350	33.6	89
44 <sup>③</sup>	425	1 200	1 005	17	64.1
	540	995	820	20	70
	595	827	690	22.6	74
	650	450	350	28.4	87

注:1 010℃油淬,回火二次。

①527℃×(2+2) h回火。

②575℃×(2+2) h回火。

③605℃×(2+2) h回火。

## 6 壁板模设计

### 6.1 壁板模设计原则

用平板法挤压壁板时的应力应变状态是十分复杂的,金属的流动也极不均匀,挤出产品的前端与尾端,中心与边缘的尺寸往往相差很大(有时达0.8~1.0 mm);易产生波浪、扭拧、刀弯等缺陷,模子易开裂变形。因此,为了提高产品

$$\sigma = \frac{1.5qAl}{bh^2} \quad (15.4-5)$$

式中  $\tau$ ——切应力 (MPa);

$\sigma$ ——弯曲应力 (MPa);

$q$ ——悬臂所承受的均布载荷 (MPa);

$A$ ——悬臂受压面积 ( $\text{mm}^2$ );

$l$ ——悬臂的长度 (mm);

$b$ ——危险截面的宽度 (mm);

$h$ ——危险截面的高度 (mm)。

剪切加弯曲的等效应力  $\sigma_R$  应小于模具钢在工作温度下的高温许用应力。

$$\sigma_R = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (15.4-6)$$

4Cr5MoV1Si (H13) 钢短时高温力学性能,见表 15.4-3。

质量,延长模子寿命,除了合理设计型材、严格控制工艺因素外,对型材在平面模子上的布置,模腔尺寸和工作带(阻碍角或助推角),模子外形等应作合理的考虑。

为了调整流速,合理分配金属流量,改善流动特性,对称型壁板应尽量使模孔截面中心与挤压筒截面中心相重合。不对称型壁板应适当增加工艺余量,以减少其不对称性。对于腹板厚度不同的壁板,应使较薄的部分靠近挤压筒中心。

在确定模孔尺寸时主要考虑热收缩、模孔的弹性与塑性变形、模子的整体弯曲和拉伸矫直时制品尺寸的变化等因素。在挤压壁板时,由于各个部分的尺寸变化规律有很大差异,所以在设计时,模孔尺寸应分成几部分来进行计算。比如,带“T”字形肋条的壁板,可以分为两部分——底板部分和肋条部分来考虑。宽厚比大的底板尺寸(包括相关尺寸),由于模子的弹性与塑性变形,以及模子整体弯曲的影响,挤压时有严重的减薄现象。减薄的程度与合金成分、壁板的形状规格、宽厚比、工艺制度、模子强度(模子材料和外形尺寸)等有关,有时达3 mm以上。所以在确定底板部分的模孔尺寸时,公称尺寸应加上技术条件所允许的极限上偏差。为了补偿弹性和塑性变形,根据壁板宽度及其与挤压筒的相对位置,应把模孔尺寸增大0.8~1.3 mm。为了补偿模子的整体弹性弯曲,模孔尺寸应从两边向中部,均匀地增加~1.65 mm。

目前尚无计算壁板底板处模孔尺寸的定量公式,只能根据生产经验来确定。一般来说,壁板越宽,越薄,宽厚比越大,被挤压合金变形抗力

越高,作用在模子上的应力就越大,模子变形就越大。对挤压工具的变形进行了长期观察之后表明,当挤压壁板底板厚度等于或大于6 mm,挤压系数为12~15时,模子实际上不产生残余变形。

生产实践表明,模孔的整体弯曲主要取决于壁板底板模孔的宽度与厚度以及相对于挤压筒中心的位置。在设计模孔尺寸时,一般来说,中心部分应比壁板的公称尺寸大2.5 mm,而两侧边的尺寸应比公称尺寸大1.5 mm。

模孔中心部位的弹性变形主要取决于壁板的规格和被挤压合金的变形抗力,而与挤压次数关系不大。模孔的塑性变形随挤压次数的增加而逐渐减少,比如,在用扁挤压筒挤压硬合金壁板时,在模孔中心处的塑性变形,第1次挤压后为0.9 mm,第2次挤压后减至0.3 mm,而在以后多次挤压后,模孔的塑性变形实际上停止了。

上述结果可由表15.4.4和图15.4.30得到证实。

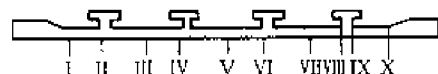


图 15.4.30 测量模孔和挤压壁板尺寸示意

表 15.4.4 模孔的变形和挤压壁板尺寸的测量结果(图15.4.30) (mm)

测量项目	测量值(在以下各横截面上)									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
公称尺寸	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
制模后的模孔尺寸	4.3	4.3	4.7	4.9	5.1	5.1	4.9	4.7	4.5	4.3
第一次挤压后的模孔尺寸	3.7	3.8	4.2	4.1	4.2	4.1	4.1	4.1	3.9	3.7
第1次挤压后的壁板腹板尺寸	2.7	2.0	2.0	2.0	1.85	1.8	1.9	2.0	2.0	2.7
第2次修模后的模孔尺寸	+0.8 4.5	+1.5 5.3	+1.5 5.7	+1.6 5.7	+1.7 5.9	+1.7 5.9	+1.6 5.7	+1.5 5.6	+1.5 5.4	+0.8 4.5
第2次挤压后壁板腹板尺寸	V型	2.35	3.35	3.5	3.4	3.45	3.4	3.4	3.4	2.35
	U型	3.35	3.45	3.4	3.2	3.25	3.25	3.25	3.4	3.6
第2次挤压后模孔尺寸	4.3	5.1	5.3	5.3	5.6	5.6	5.3	5.3	5.1	4.3
第2次修模后模孔尺寸	+0.3 4.6	+0.3 5.4	+0.3 5.6	+0.5 5.8	+0.4 6	+0.4 6	+0.4 5.7	+0.4 5.7	+0.2 5.3	+0.1 4.4
第2次修模后壁板腹板尺寸	V型	2.75	3.8	3.8	3.8	3.8	3.75	3.8	3.65	3.65
	U型	2.8	3.7	3.7	3.7	3.7	3.65	3.8	3.5	3.9
第3次修模尺寸	+0.6	—	—	—	—	—	—	—	—	+0.2
第4次挤压后壁板腹板尺寸	V型	3.55	3.6	3.7	3.65	3.65	3.7	3.55	3.65	3.3
	U型	4.2	3.7	3.6	3.6	3.55	3.5	3.5	3.7	3.9

除了底板以外的肋条部分,受弹性、塑性压缩的以及整体弯曲的影响极小,所以只考虑产品的公差、热收缩量和拉伸矫直量等,也就是说可按普通型材的变化规律来设计这些部分的模腔尺寸。为了调节金属流速,改善变形条件、防止波浪、扭拧、刀弯等缺陷,必须合理设计模子的工作带长度,它主要与型材设计的部位距挤压筒中心的距离有关,一般取 $5\sim 15\text{ mm}$ 。经验证明,对宽厚比大的壁板阻碍角的意义并不大。

## 6.2 壁板模设计举例

1) 在200MN挤压机上用 $\square 7300\text{ mm}\times 1100\text{ mm}$ 扁挤压筒挤压对称型和非对称型壁板用的模子设计如图15.4-31所示。由于尺寸多,工作带长度变化频繁,所以平板上的工作带长度变化与过渡方式采用展开图表示。图中 $8^\circ$ 为促流角,以利于金属均匀流动。

2) 在120MN挤压机上用 $\square 240\text{ mm}\times 850\text{ mm}$

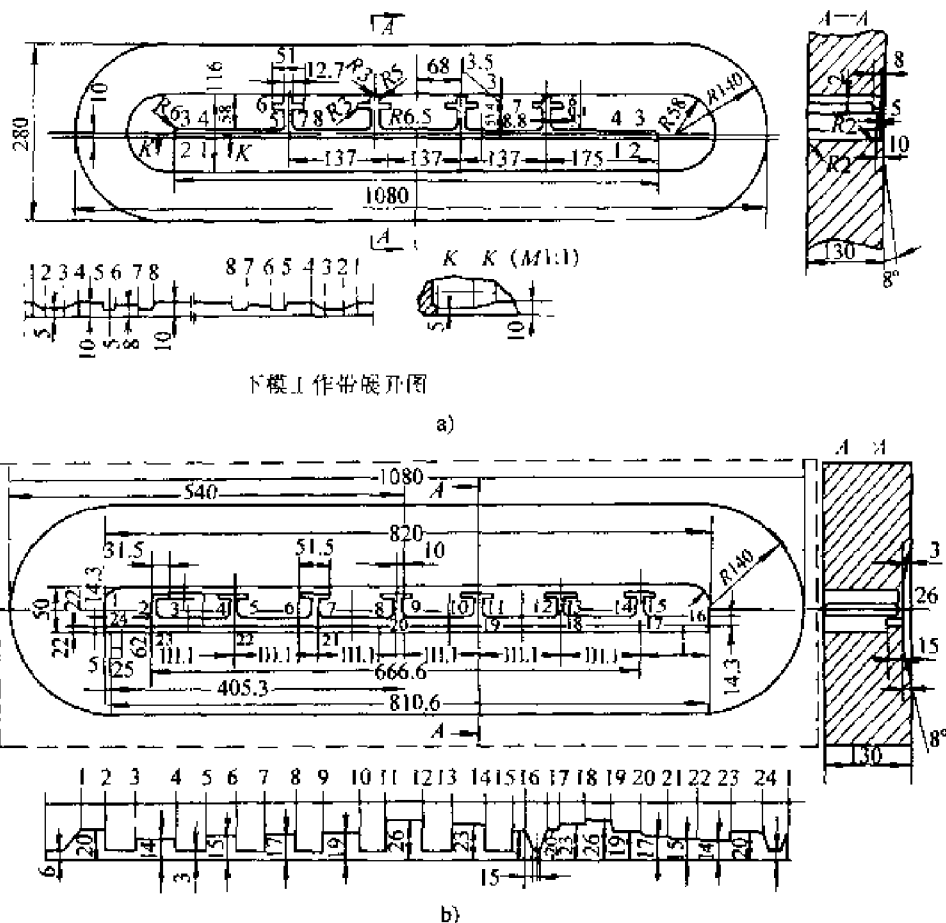


图 15.4-31 200MN 挤压机用扁孔挤压壁板模子尺寸  
a) 对称型壁板 (PIK0329) b) 不对称型壁板 (PIK14103)

扁挤压筒挤压壁板的模子设计如图15.4-32所示。图中除了在模子四周设计有 $8^\circ$ 的促流角外,在壁厚较薄的立肋处尚开设有 $45^\circ$ 的入口锥角,以补偿金属流动的不均匀性。

3) 在125MN挤压机上用 $\phi 650\text{ mm}$ 圆挤压筒挤压壁板模孔设计见图15.4-33和表15.4-5。

由于用圆挤压筒挤压壁板型材时金属的流动不均匀性要比扁挤压筒的大,加之7A09铝合金的挤压性不佳,所需挤压力大,因此模孔尺寸很难控制。从表15.4-4可知,腹板部分壁厚的模孔设计尺寸一般要比型材尺寸大3mm左右,远远超出了按一般设计方法计算的尺寸。

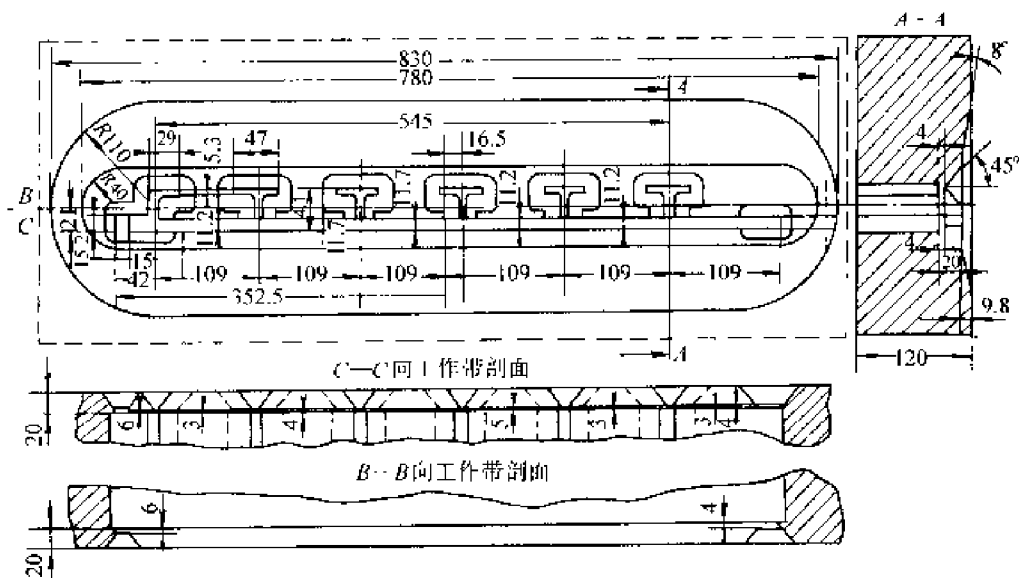


图 15.4-32 120MN 挤压机上用扁孔挤压壁板模子尺寸

表 15.4-5 图 15.4-33 中壁板模孔尺寸设计及挤压后的型材尺寸 (mm)

项 目 \ 尺 寸	$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_4$	$\delta_5$	$\delta_6$	$\delta_7$
型材尺寸	$13^{+0.4}_{-0.3}$	$8^{+0.7}_{-0.35}$	$6.5^{+0.6}_{-0.3}$	$8^{+0.7}_{-0.35}$	$6.5^{+0.6}_{-0.3}$	$8^{+0.7}_{-0.35}$	$6.5^{+0.6}_{-0.3}$
模孔尺寸	13.9	8.6	7.2	8.8	7.4	8.6	7.2
第 1 次挤压尺寸	11.9	6.3	4.85	5.98	4.56	5.8	4.6
最后修模或改设计尺寸	15.2	11	9.5	11.3	9.7	11.2	9.6
最后挤压尺寸	12.6	7.6	6.3	7.4	6.2	7.3	6.6

项 目 \ 尺 寸	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$h_1$	$h_2$
型材尺寸	$43^{+0.6}_{-0.4}$	$43^{+0.6}_{-0.4}$	$43^{+0.6}_{-0.4}$	$7 \pm 0.3$	$7 \pm 0.3$	$7 \pm 0.3$	$51 \pm 0.7$	$51 \pm 0.7$
模孔尺寸	44.2	44.2	44.2	7.6	7.6	7.6	52.2	52.2
第一次挤压尺寸	42.4	41.4	41.3	7.4	7.3	7.3	51.5	51.7
最后修模或改设计尺寸	46	46.2	46	7.2	7.3	7.2	51.6	51.6
最后挤压尺寸	42.8	42.8	43	7.1	7.0	7.1	51	50.8

项 目 \ 尺 寸	$b_3$	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$L_1$	$L_2$	$L$
型材尺寸	$5 \pm 0.7$	$13 \pm 0.5$	$13 \pm 0.5$	$13 \pm 0.5$	$116.5 \pm 1.2$	$117.5 \pm 1.2$	$535 \pm 0.5$
模孔尺寸	52.2	13.6	13.6	13.6	118.5	119.5	546
第一次挤压尺寸	51.9	13.5	13.4	13.4	117.8	119	542
最后修模或改设计尺寸	51.6	13.4	13.4	13.4	118.5	119	545
最后挤压尺寸	51.1	13.3	13.2	13.3	117.3	118.2	538

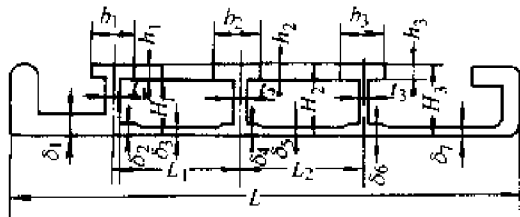


图 15.4-33 125MN 挤压机上用圆挤压筒挤压壁板 (7A09 铝合金的模孔尺寸设计)

4) 在 20MN 挤压机上用  $\varnothing 230 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$

扁挤压筒挤压肋壁板的模孔设计, 见图 15.4-34 和表 15.4-6。对照图和表可知, 对于宽度较窄而宽厚比小于 50 的壁板型材模的设计, 基本可按普通型材模的设计方法进行。

5) 在 125MN 挤压机上用  $\varnothing 800 \text{ mm}$  挤压筒挤压带肋管的模具设计 (见图 15.4-35)。采用外带肋结构, 便于模具制造和挤压过程的控制。由于肋多, 所以在分割圆周角时必须进行仔细的计算, 以免展平时产生误差。

表 15.4-6 模孔尺寸与制品尺寸对照表 (mm)

铝合金牌号	尺寸位置		1 <sup>①</sup>		2 <sup>②</sup>		3		4		5		6		7		8	
	前	尾	尾	前	尾	前	尾	前	尾	前	尾	前	尾	前	尾	前	尾	前
型材尺寸	190±2.0		75±0.6		3.5±0.4		3.5±0.4		3.5±0.4		3.5±0.4		3.5±0.4		3.5±0.4		15±0.5	
模孔设计尺寸	192.8		75.9		4.0		4.0		4.0		4.0		4.0		4.0		15.6	
2A12	制品实际尺寸		191.2	191.5	75.3	75.3	3.61	3.69	3.26	3.36	3.05	3.19	3.8	3.85	3.8	3.9	15	
	差 值		1.6	1.3	0.6	0.6	0.39	0.31	0.74	0.64	0.95	0.81	0.2	0.15	0.2	0.1	0.6	
2A14	制品实际尺寸		191.4	191.5	75.3	75.4	3.8	3.85	3.41	3.5	3.24	3.36	3.86					15.1
	差 值		1.4	1.3	0.6	0.5	0.2	0.15	0.59	0.5	0.76	0.65	0.14					0.5
3A21	制品实际尺寸		191.2	191.2	75.3	75.74	3.84	3.83	3.5	3.61	3.36	3.5	3.8				15.1	15.2
	差 值		1.6	1.6	0.6	0.16	0.16	0.17	0.5	0.39	0.64	0.5	0.2				0.5	0.5

①壁板宽度。  
②肋间距离。

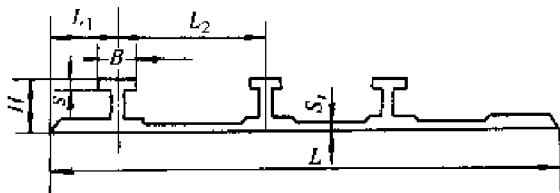
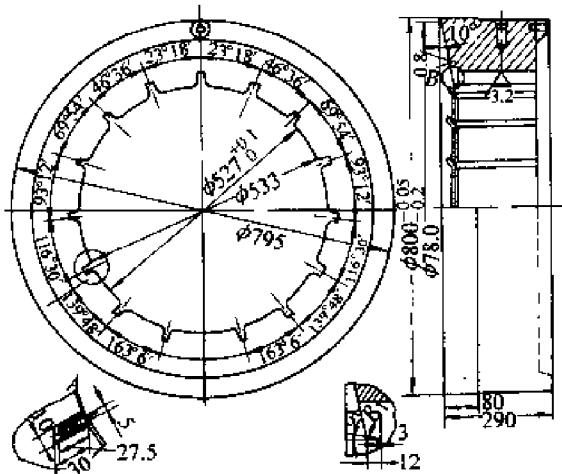


图 15.4-34 20MN 挤压机用  $230 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$  扁孔挤压壁板模孔图





## 第5章 挤压模材料及热处理

### 1 挤压技术与模具

20世纪50年代以来,铝挤压技术发展迅速,各国已装备各种形式、各种结构、不同吨位挤压机4 000台以上,世界挤压铝材年产量已超过600万吨。现在,挤压铝材正向大型化、复杂化、精密化、多品种、多规格、多用途方向发展,挤压生产也日趋连续化、自动化和专业化。目前,不仅发展了一些特殊结构的大型挤压机,而且研制了多种新型结构的模具(如分流组合模、宽展模等)以及新的挤压工艺(如静液挤压、快速挤压、扁挤压等),并能挤压各种外形复杂的实心与空心制品(如宽度为1~2.5 m的大型整体带肋壁板,26孔异形空心型材,  $\phi 20 \sim \phi 600$  mm管材和  $\phi 10 \sim \phi 620$  mm棒材等)。但随着挤压技术的发展,也对模具提出了越来越高的要求。

模具是保证产品形状、尺寸和精度以及表面质量的基本工具。合理的模具结构在一定程度上可控制产品的内部组织和力学性能;合理的模具设计与制造能大大提高模具的寿命,因而对于提高生产效率,降低成本和能耗有着重要的意义。

新型模具结构对于开发新品种、新工艺,不断提高挤压技术水平起着重要作用。

### 2 挤压模的工作条件与材料选用

#### 2.1 挤压模的工作条件

一般来说,在挤压铝合金制品时,模具要承受长时间的高温高压、激冷激热、反复循环应力的作用,承受偏心载荷和冲击载荷作用,承受高温高压下的摩擦作用。

#### 2.2 选材须考虑的问题

选择工模具材料的条件非常严格。一般地说,用于挤压铝合金型材的工模具材料必须考虑下列问题。

1) 高的强度和硬度值 挤压工模具一般在

高比压条件下工作,在挤压铝合金时,要求模具材料在常温下抗拉强度  $\sigma_b$  大于1 500 MPa。

2) 高的耐热性 即在高温(挤压铝合金时的工作温度为500℃左右)下,有良好的力学性能(保持形状的屈服强度以及避免破断的强度和韧性),而不过早地(一般为550℃以下)产生退火和回火现象。生产经验表明,在工作温度下,挤压工具材料的抗拉强度  $\sigma_b$  不应低于650 MPa;模具材料的  $\sigma_b$  不应低于1 000 MPa。

3) 高韧度 在常温和高温下具有高的冲击韧度和断裂韧度值,以防止工模具在低应力条件下或在冲击载荷作用下产生脆断。

4) 高的稳定性 在高温下有高抗氧化稳定性,不易产生氧化皮。

5) 高的耐磨性 在长时间的高温高压和润滑不良的情况下,表面有高的耐磨料磨损能力,特别是在挤压轻合金时,有抵抗金属的“粘附”和磨损模具表面的能力。

6) 具有良好的淬透性 用以确保工具的整个截面(特别是大型工具的横截面)有高的且均匀的力学性能。

7) 具有抗激冷、激热的适应能力 抗高热应力和防止工具在连续、反复、长时间使用中产生热疲劳裂纹。

8) 高导热性 能迅速地从工具工作面散发热量,防止被挤压制品和工模具本身产生局部过烧或过多地损失其力学性能。

9) 抗反复循环应力性能强 即要求高的持久强度,防止过早疲劳破坏。

10) 具有一定的抗腐蚀性和良好的可渗氮特性。

11) 具有小的膨胀系数和良好的抗蠕变性能。

12) 良好的工艺性能 即材料易熔炼、锻造、加工和热处理。

13) 所用的工模具材料应易获取,并尽可能符合最佳经济原则,即价廉物美。

### 2.3 常用模具材料牌号

各国模具钢化学成分不一, 牌号名目繁多。前苏联常用的模具钢有 5XHM、5XTM、5XHB、3X2B8Φ、4X2B2ΦC、4X2B5ΦM、4X4HMBΦ、ΦH867A、3H929M、BM2 等; 美英等国常用的有 H10、H10A、H11~H14、H19、H21、H23、H24、H26、V57、A286、inco718、NiMonic90 等; 日本常用的有 SKT4、SKT6、SKD5、SKD61、SKD62 等; 德国常用 X30WCrV53、X38CrMoV51、X32CrMoW33、30WCrV3411、50NiCrMoV7、GX170CoCrW3325、X28CrCoWM01010 等。我国常用的有 3Cr2W8V、5CrNiMo、5CrMnMo、5CrMnSiMoV、4SiMnMoV、4CrSiMnMoV、5CrNiMoSiV1、4Cr5MoSiV1 等。

### 2.4 材料选择原则

为了提高工模具的使用寿命, 降低生产成本, 提高产品质量, 选择轻合金挤压工模具材料时一般应考虑以下几方面的因素。

1) 被挤压金属或合金的性能 应根据被挤压金属和合金的性能来选择最合理、最经济的工模具材料。表 15.5-1 列出了美国按被挤压合金选取模具材料的部分情况。日本的情况与美国相似。原苏联在挤压铝合金时, 模具的材料一般推荐采用 3H383、3X2B8Φ、4XB2C、3H431。我国主要采用 3Cr2W8V 钢作为挤压铝合金的模具的材料, 选用 3Cr2W8V、5CrNiMo、5CrNiW 等作为基本工具的材料。近十多年来, 4Cr5MoSiV

和 4Cr5MoSiV1 钢开始广泛用来制造挤压模具。

2) 产品品种、形状和规格 挤压圆棒和圆管时, 可选用中等强度的 5CrNiMo、5CrMnMo、5CrNiW 等钢材, 或强度更低的钢材 (如 45 钢) 来制造工模具; 而挤压形状复杂的空心型材和薄壁管材时, 应选用 3Cr2W8V 和 4Cr5MoSiV1 等较高级的材料来制造工模具; 对于形状复杂的空心型材以及宽厚比大于 50 的扁宽薄壁型材和带肋壁板型材, 则要求选用更高级的模具材料; 对于品种单一、专业化程度高、批量大、要求壁厚、精度高、表面优良的民用建筑型材, 则应选择具有高强、高耐热、耐磨、高抗蠕变且具有良好的渗氮性能的钢材 (如日本选用 AE31 钢) 来制造模具。

3) 挤压方法、工艺条件与设备结构 模具材料选择与挤压方法有很大关系, 热挤压模具材料要求有高的热强度和热硬度, 高的热稳定性和耐磨性等; 而冷挤压工模具必须在很高的压力下工作, 一般单位压力可高达 1 500~2 000 MPa, 当连续生产时, 模具工作部分的局部温度可达 150~200℃, 同时, 由于冷挤压的工具运动速度快, 受冲击力作用较大, 故工模具材料除要求具有高的强度和良好的韧性、碳化物偏析少之外, 还必须有良好的热处理性能; 静液挤压模具处于高压液包围之中, 模具呈预应力状态, 同时, 静液挤压时的挤压力比正、反向挤压时都要低, 故可选用 3Cr2W8V 等模具钢来制造工模具。

表 15.5-1 美国热挤压模具钢及其硬度

被挤压合金	挤压温度/℃	模具硬度 HRC	模具钢牌号
铜与铜合金	648~1 093	36~45	H21、H23、H26
铝合金	343~510	46~50	H12、H13
镁合金	343~426	46~50	H12、H13

在挤压过程中, 当工艺条件变化时, 工模具材料也应作适当的变化, 如穿孔挤压的针尖和针后端, 水冷或氮气冷却挤压用的模具等, 应使用具有良好抗激冷、激热的材料来制造; 正向无润滑热挤压与润滑挤压时, 模具材料的主要区别是前者应选用耐磨性更高, 热表面硬度和渗氮性能更好的材料。

在某些情况下, 设备结构不同也影响工模具

材料的选择。如 T.A.C 反挤压时, 由于反向挤压轴的特殊结构, 装在其中的模具、密封环和填充块都要承受相当大的压力, 故一般需采用 3Cr2W8V 或 H11~H13 (美国) 材料, 而普通的反挤压轴及其配套件, 可用 5CrNiMo 钢制造。

4) 挤压工模具的结构形状与尺寸 普通实心型材的平面模可选用 5CrNiMo 或 3Cr2W8V 钢制造; 形状复杂的特殊型材模 (如带肋壁板模、

变截面型材模等)和空心型材用舌型模、平面分流组合模等,必须用 3Cr2W8V 和 4Cr5MoSiV1 钢或更高级的材料制造。

一般情况下,选用 5CrNiW、5CrNiMo、5CrMnSiMoV 等钢材制造挤压筒。但制造小型挤压筒、高比压挤压筒,特别是扁挤压筒时,其内套应选用 3Cr2W8V 钢,中套可选用 5CrNiMo 钢,而外套可选用 45 钢。其它的挤压工具,如挤压轴、针支承等,在受高比压时,也可做成组合式,其中工作部分采用 3Cr2W8V 钢,而基座部分选用 5CrNiMo 钢。T.A.C 反挤压轴的导套则可用 35 钢制造。

工模具的尺寸也是选择材料时应考虑的一个重要因素,受重载的小尺寸工模具选用 3Cr2W8V 钢或更高级的材料来制造;而对于尺寸大、重量超过 1 000 kg 的模具和 10 000 kg 的基本工具,由于钢材的熔铸、铸造加工和热处理质量难以保证,故一般不宜采用 3Cr2W8V 钢。

5) 材料的价格及其它因素 挤压工模具是易损部件,特别是挤压模和针尖的消耗量相当大。据不完全统计,热挤压“中等批量”的铝型材时,工模具的消耗占挤压生产总成本的 25%~50%。为了降低挤压成本,除了提高模具质量、延长使用寿命外,选用价格合理的工模具材料也是一个重要因素。即在能同时满足某种工艺条件和工作要求情况下,应优先选用价格更低的材料。在计算模具钢的效果时,应考虑钢材本身的成本。据原苏联资料介绍,与 5XHM 钢相比,3X2B8Φ 钢贵 2.4~2.5 倍,4X5B4MΦC 钢贵 1.8~2.0 倍,5X3B3MΦC 钢贵 1.8~2.0 倍。

开发与选用工模具材料是一项十分复杂的工作,除技术上、经济上的需要与可能外,还应与本国和本地区的具体情况相适应。如果某些钢材需要采用特殊的熔炼、锻造和热处理工艺,而某些国家目前尚无此类工艺装备或工艺技术;有一些国家的钨藏量比较丰富,而另一些国家缺乏 Ni 金属等等。总之,应根据技术上的需要和可能,选择既经济又合理的工模具材料。

### 3 挤压模具钢热处理

#### 3.1 5CrMnMo、5CrNiMo 和 5CrNiMoV 钢热处理

##### (1) 临界温度

5CrMnMo 钢:  $A_{c1}$  为 710℃,  $A_{c3}$  为 760℃,  $A_{r1}$  为 650℃,  $M_s$  为 220℃。

5CrNiMo 钢:  $A_{c1}$  为 730℃,  $A_{c3}$  为 780℃,  $A_{r1}$  为 680℃,  $M_s$  为 210℃。

5CrNiMoV 钢:  $A_{c1}$  为 720℃,  $A_{c3}$  为 790℃,  $A_{r1}$  为 660℃,  $M_s$  为 270℃。

##### (2) 锻造工艺

加热温度 1 100~1 150℃,始锻温度 1 050~1 100℃,终锻温度 800~850℃。此类钢有形成白点的倾向,为避免白点产生,对小型锻件应缓冷到 150~200℃ 后空冷,对大锻件必须在 600~650℃ 保温,然后缓冷到 150~200℃ 出炉空冷。

退火工艺有两种:

1) 完全退火: 810~830℃ 加热,保温 4~6 h,炉冷到 500℃ 出炉。

2) 不完全退火: 780~800℃ 加热,保温 4~6 h,炉冷到 500℃ 出炉。

退火硬度: 197~240HBS,金相组织为片状珠光体、片状铁素体。

##### (3) 热处理工艺

5CrMnMo 钢: 800~850℃ 加热,油冷淬火 53~58HRC,450~500℃,回火两次。

5CrNiMo 钢: 830~860℃ 加热,油冷淬火 52~58HRC,450~500℃,回火两次。

5CrNiMoV 钢: 830~880℃ 加热,油冷淬火 53~60HRC,450~500℃,回火两次。

回火后组织为回火索氏体与回火托氏体混合组织。

回火硬度与回火温度的关系见表 15.5-2,模具淬火冷却时间见表 15.5-3。

表 15.5-2 回火硬度与回火温度的关系

回火温度/℃	回火硬度 HRC	回火温度/℃	回火硬度 HRC
380~400	48~52	500~540	40~44
480~500	44~48	560~580	36~40

表 15.5-3 模具淬火冷却时间

模具最小几何尺寸/mm	300	350	400	500	600	700
空气中冷却时间/min	5	6	7	9	12	24
油冷却时间/min	40	50	60	80	100	120

3.2 3Cr2W8V 钢热处理

(1) 临界温度

其临界温度  $Ac_1$  为  $820 \sim 830^{\circ}\text{C}$ ， $Ac_3$  为  $920^{\circ}\text{C}$ ， $Ar_1$  为  $773^{\circ}\text{C}$ ， $Ms$  为  $330 \sim 380^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 锻造工艺

始锻温度  $1080 \sim 1120^{\circ}\text{C}$ ，终锻温度  $850 \sim 900^{\circ}\text{C}$ ，先冷至  $Ar_1$  点附近然后缓冷。

普通退火：加热温度  $830 \sim 850^{\circ}\text{C}$ ，保温  $3 \sim 4\text{ h}$ ，以  $<40^{\circ}\text{C/h}$  的冷却速度随炉冷至  $400^{\circ}\text{C}$  以下。出炉空冷。

等温退火：加热到  $830 \sim 850^{\circ}\text{C}$ ，保温  $2 \sim 3\text{ h}$ ，炉冷到  $700 \sim 720^{\circ}\text{C}$  进行等温处理  $3 \sim 4\text{ h}$ ，然后以  $40^{\circ}\text{C/h}$  的冷速随炉冷却到  $400^{\circ}\text{C}$  以下出

炉空冷。退火组织：点状珠光体和少量粒状碳化物组成，硬度为  $207 \sim 255\text{HBS}$ 。

(3) 热处理工艺

淬火加热温度为  $1050 \sim 1100^{\circ}\text{C}$ 、淬火后组织为马氏体、碳化物，并有少量残余奥氏体。因  $3\text{Cr}2\text{W}8\text{V}$  钢合金元素含量较高，因此应当低于  $650 \sim 700^{\circ}\text{C}$  入炉，在  $800 \sim 820^{\circ}\text{C}$  保温一段时间。

注意：工模具在油中不能冷却到室温，应控制冷却到  $200^{\circ}\text{C}$  左右，即模具提出油面时仅能看到淡青色的烟而不着火时，即可提出立即回火。

$3\text{Cr}2\text{W}8\text{V}$  钢回火硬度与回火温度的关系见表 15.5-4。由下表看出， $3\text{Cr}2\text{W}8\text{V}$  钢在  $550^{\circ}\text{C}$  出现二次硬化峰。

表 15.5-4 3Cr2W8V 钢回火硬度与回火温度的关系

回火温度/ $^{\circ}\text{C}$	200	500	550	600	650	670	700
淬火温度/ $^{\circ}\text{C}$							
1050	49	46	47	43	35	32	27
1075	50	47	48	44	36	33	30
1100	52	48	49	45	40	36	32
1150	55	49	53	50	45	40	34
1250	57	50	54	52	49	45	40

3.3 H13 (4Cr5MoSiV1) 钢热处理

(1) 临界温度

其临界温度  $Ac_1$  为  $875^{\circ}\text{C}$ ， $Ac_3$  为  $935^{\circ}\text{C}$ ， $Ar_1$  为  $760^{\circ}\text{C}$ ， $Ms$  为  $305^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 锻造工艺

始锻温度  $1060 \sim 1150^{\circ}\text{C}$ ，终锻温度  $850^{\circ}\text{C}$ ，锻后灰冷。总锻比  $>3$ ，锻粗比  $>2$ ，锻造时要反复锻拔。

H13 等温退火： $845 \sim 900^{\circ}\text{C} \times (2 \sim 4)\text{ h}$ /炉冷 +  $720 \sim 740^{\circ}\text{C} \times (3 \sim 4)\text{ h}$ /炉冷以  $\leq 40^{\circ}\text{C/h}$  炉冷， $\leq 500^{\circ}\text{C}$  出炉空冷，布氏硬度  $192 \sim 229\text{HBS}$ 。

退火组织：球状珠光体、少量粒状碳化物。

(3) 热处理工艺

H13 钢淬火、回火曲线见图 15.5-1。

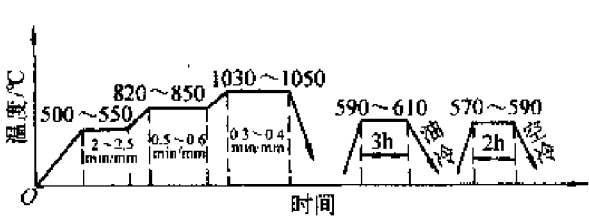


图 15.5-1 H13 钢淬火、回火曲线

H13 钢在不同淬火温度下的硬度，晶粒度残余奥氏体量见表 15.5-5。

H13 钢回火温度与硬度关系见表 15.5-6。

H13 钢双重淬火工艺：1 160℃ 淬火/720℃ 回火 + 1 050℃ 淬火。 H13 钢经不同热处理后的硬度、冲击初度  $a_K$  和平面应变断裂初度  $K_{Ic}$  见表 15.5-7。

表 15.5-5 H13 钢在不同淬火温度下的硬度、晶粒度及残余奥氏体量

淬火加热温度/℃	980	1 000	1 020	1 040	1 060	1 080	1 100
硬度 HRC	50~52	51~53	52~54	53~55	54~55.5	54~55.5	54~55.5
晶粒度/级	9	9	9	9	9	8.7	7
残余奥氏体含量（体积分数）/%	2	2.5	2.5	3	5.5	7.5	9

表 15.5-6 H13 钢回火温度与硬度（HRC）关系

回火温度/℃	未回火	200	300	400	500	600	700
980℃ 淬火	50.5	50	50.5	51	53	46	31
1 050℃ 淬火	53.5	52.5	53	53.5	55	49	34
1 080℃ 淬火	55.5	54	54.5	55	56	51	38

表 15.5-7 H13 钢经不同热处理后的硬度、 $a_K$  和  $K_{Ic}$

淬火工艺	回火温度/℃	硬度 HRC	冲击初度 $a_K/J \cdot cm^{-2}$	断裂初度 $K_{Ic}/MN \cdot m^{\frac{3}{2}}$
1 050℃ 油淬	350	50.5	52	52
	520	53.5	37	54.8
	600	49.5	31	34.8
	650	40.5	42	52.5
1 150℃ 油淬	350	54	42	67.5
	520	58	18	37
	600	56	12	38.6
	650	46	28	46
1 130℃ 油淬	350	53	45	66.5
	520	57	20	36.5
	600	55.5	17	37.5
1 150℃ 油淬 + 720℃ 回火 + 1 050℃ 油淬	350	52	50	727
	520	55.8	34	39.5
	600	54	29	42

由上表看出，H13 钢在 500℃ 回火时出现回火硬化现象，硬度为 55HRC，但韧性最差。因此 H13 钢回火时一定要避开 500℃ 回火，应当在 550~650℃ 回火为宜，回火应进行 2~3 次。

3.4 常用模具钢热处理工艺优化

(1) H13 钢

预热温度：550℃、850℃，淬火温度：1 050℃，硬度 57.4~60.3HRC。

第一次回火：590℃ × 2 h，硬度 51.2~53HRC。

第二次回火：600℃ × 2 h，硬度 47~48HRC。

(2) 4Cr5MoSiV 钢

预热温度：550℃、850℃，淬火温度：1 020℃，硬度 59~60HRC。

第一次回火：545℃ × 2 h，硬度 52.8 ~ 53.5HRC。

第二次回火：570℃ × 2 h，硬度 49 ~ 50HRC。

(3) 3Cr2W8V 钢

预热温度：550℃、850℃，淬火温度：1 130℃，硬度 54~57.5HRC。

第一次回火：610℃ × 2 h，硬度 51.8 ~ 52HRC。

第二次回火：630℃ × 2 h，硬度 48.8 ~ 49HRC。

(4) 5CrNiMo 钢

预热温度：550℃，淬火温度：850℃，硬度 62~62.5HRC。

第一次回火：500℃ × 2 h，硬度 41.6 ~ 42.4HRC。

第二次回火：500℃ × 2 h，硬度 41~41.6HRC。

(5) 5CrMnMo 钢

预热温度：550℃，淬火温度：850℃，硬度 60~66HRC。

第一次回火：500℃ × 2 h，硬度 45HRC。

第二次回火：540℃ × 2 h，硬度 41~42HRC。

常用模具钢力学性能见表 15.5-8。

表 15.5-8 常用模具钢力学性能

钢种	室温				300℃				600℃	
	$\sigma_b$ / MPa	$\sigma_s$ / MPa	$\psi$ / %	$\delta$ / %	$\sigma_b$ / MPa	$\sigma_s$ / MPa	$\psi$ / %	$\delta$ / %	$\sigma_b$ / MPa	$\sigma_s$ / MPa
H13	1 718	1 444	43.7	11.2	1 446	1 251	53.2	12.1	946	834
4Cr5MoSiV	1 739	1 469	32.4	10.8	1 504	1 311	39.1	12.0	895	794
3Cr2W8V	1 647	1 449	30.8	10	1 497	1 302	40.7	11.3	1 104	959
5CrNiMo	1 310	1 210	41	15	1 214	1 030	57.8	24.9	313	262
5CrMnMo	1 310	1 210	31	13	1 000			12		
钢种	600℃		650℃				700℃			
	$\psi$ / %	$\delta$ / %	$\sigma_b$ / MPa	$\sigma_s$ / MPa	$\psi$ / %	$\delta$ / %	$\sigma_b$ / MPa	$\sigma_s$ / MPa	$\psi$ / %	$\delta$ / %
H13	72.9	20.5	620	556	83.2	24	198	160	98.8	53.4
4Cr5MoSiV	72.9	21.9	471	102	8.55	33.1	226	179	94.9	55
3Cr2W8V	15.4	11.2	808	718	7.82	5.4	415	364	70.8	26.6
5CrNiMo	91	69	177	142	96	101	99	76	96.4	105.9
5CrMnMo										

注： $\sigma_b$ —抗拉强度； $\sigma_s$ —屈服点； $\psi$ —收缩率； $\delta$ —伸长率。

3.5 4Cr3Mo2V 钢热处理

(1) 化学成分 (质量分数)

C: 0.45%，Cr: 3.0%，Mo: 1.50%，V: 1.50%，Si: 1.0%，P、S: <0.012%。

(2) 临界温度

$A_{c1}$  为 850℃， $A_{c3}$  为 905℃。

(3) 锻造工艺

始锻温度 1 040~1 060℃，终锻温度 850℃，

灰冷。

退火工艺 850℃ ± 10℃，保温 2.5 h，然后以 30℃/h 冷却速度降温至 730℃ ± 10℃ 等温 5 h，以 50℃/h 冷却至 550℃ 出炉空冷，硬度 240HBS。

(4) 热处理工艺

淬火温度为 1 050~1 130℃，一般推荐以 1 100℃ 为宜。回火温度为 550~600℃。

4Cr3Mo2V 钢回火硬度见表 15.5-9。

表 15.5-9 4Cr3Mo2V 钢回火硬度 (HRC)

回火温度/℃ 淬火温度/℃	300	400	500	600	650	700	750
1 050	54	55	56.5	54	47.5	40	34
1 100	57	56.5	59	55.5	49.5	42	36
1 130	58	59	60.5	57.5	51	45	38.5
1 160	58	59.5	61.5	58.5	51.5	45.5	39

由表 15.5-9 看出, 4Cr3Mo2V 钢在 500℃ 回火硬度最高, 说明该钢有明显的二次硬化现象。4Cr3Mo2V 钢有较高的抗回火稳定性。  
当回火温度超过 500℃ 时, 回火硬度开始下降, 4Cr3Mo2V 钢室温和高温力学性能见表 15.5-10, 表 15.5-11 和表 15.5-12。  
但与其他钢种相比, 硬度下降较慢, 说明

表 15.5-10 4Cr3Mo2V 钢室温力学性能

回火温度/℃	550	600	650	回火温度/℃	550	600	650
$\sigma_b$ /MPa	2 084	1 918	1 504	$\phi$ /%	10.3	14.0	16
$\sigma_s$ /MPa	1 862	1 711	1 363	$\delta$ /%	3.3	4.2	7.7

注: 4Cr3Mo2V 钢淬火温度为 1 130℃, 在表中各温度分别回火 2 次, 每次 2 h。

表 15.5-11 4Cr3Mo2V 钢高温力学性能

温度/℃	300	400	500	600	650	700	750
$\sigma_b$ /MPa	1 688	1 578	1 729	1 019	744	510	227
$\sigma_s$ /MPa	1 419	1 400	1 141	899	670	453	191
$\phi$ /%	30.6	38.6	55.6	46.2	38.2	32.0	64.4
$\delta$ /%	6.7	9.0	13.7	10.3	7.6	9.2	18.7
$\alpha_K$ /J·cm <sup>-2</sup>	15.8	21.9	23.8	24.4	30.0	100.6	

注: 热处理工艺为 1 130℃ 淬火, 600℃ 回火 2 次。

表 15.5-12 4Cr3Mo2V 钢在 700℃ 时的力学性能

回火温度/℃	550	600	650	回火温度/℃	550	600	650
$\sigma_b$ /MPa	531	510	450	$\delta$ /%	9.2	9.2	12.0
$\sigma_s$ /MPa	472	453	388	$\alpha_K$ /J·cm <sup>-2</sup>	83.8	100.6	100.0
$\phi$ /%	32.0	32.0	43.1				

注: 淬火温度为 1 130℃。

3.6 国外常用模具钢组成、热处理及与 国产钢牌号对照(表 15.5-13~表 15.5-17)

表 15.5-13 俄罗斯挤压工模具(部分)钢材选用表

工具种类	工具使用条件	钢材牌号	化学成分(质量分数)/%									钢材抗拉强度 $\sigma_b$ / MPa	备注
			C	Si	Mn	Cr	V	Mo	W	Ni	Co		
挤压筒 内套	1. 一般情况下	ЭИ275	0.45	0.3	0.7	1.5	0.3					1 250~ 1 400	
	2. 高温高压条件下	ЭИ383	0.38	1.0	0.4	5.6	0.3					1 300~ 1 500	
	3. 挤压铝镁钛合金	4XB2C或 3X2B8	0.45	0.6	0.4	1.5	0.8	0.5	8.5			1 400~ 1 600	3X2B8Φ
	4. 挤压难挤压合金时	ЭИ431	0.3	1.0	0.4	1.0	0.2		4.0			1 300~ 1 500	
	5. 立式与小型卧式挤压机上	ЭИ431	0.3	0.2	0.3	2.5	0.6		4.5			1 400~ 1 550	
挤压筒 中套	1. 一般情况下	40XГ	0.4	0.3	1.5	2.0		0.2				1 000~ 1 200	
	2. 受力较大时	ЭИ275	0.45	0.3	0.7	1.5	0.3	0.7				1 100~ 1 300	
挤压筒 外套	1. 有加热装置的挤压筒	40XГ	0.4	0.3	1.5	2.0		0.2				900~ 1 100	
	2. 受力较大时	ЭИ275	0.45	0.3	0.7	1.5	0.3	0.7				1 000~ 1 100	
穿孔针	1. $\phi 50$ mm 以上	4XB2C, 5XB2C	0.45	1.0	0.3	1.7	0.2		2.0			1 500~ 1 700	
	2. $\phi 50$ mm 以下	ЭИ383, ЭИ431	0.38	1.0	0.4	5.0	0.3	1.3				1 500~ 1 700	
	3. 高负荷小针尖	3X2B8	0.3	0.2	0.3	2.5	0.3		9.0		2.0	1 600~ 1 700	
	4. 高温高压下使用	4X3B3M1C 4X5B2ΦC	0.45	0.8	0.35	3.0	1.5	1.0	3.5	0.3		1 650~ 1 750	
	5. 立式挤压机	3X2B8	0.3	0.2	0.3	2.5	0.3		9.0		2.0	1 600~ 1 700	钛合金
挤压垫片	1. 一般情况	4XB2C	0.45	0.6	0.4	1.5	0.8	0.5	0.5 2.0			1 400~ 1 600	
	2. 高负荷下	ЭИ431	0.32	0.3	0.3	2.8	0.5	2.7				1 400~ 1 600	
	3. 钛合金用	3X2B8	0.3	0.2	0.3	2.5	0.4		9.0			1 400~ 1 600	



续表 15.5-13

工具种类	工具使用条件	钢材牌号	化学成分(质量分数)/%									钢材抗拉强度 $\sigma_b$ / MPa	备注
			C	Si	Mn	Cr	V	Mo	W	Ni	Co		
模支承	1. 铝合金、镁合金	ЭИ275	0.45	0.3	1.5	2.0		0.2				1 100~ 1 300	
	2. 钛合金	3X2B8	0.3	0.2	0.3	2.5	0.4		9.0			1 200~ 1 400	
模垫	1. 一般情况	ЭИ275	0.45	0.3	0.7	1.5	0.3	0.7				1 100~ 1 300	
	2. 高温高负荷情况下	ЭИ431	0.45	0.2	0.5	1.3		0.2	0.5	4.0		1 200~ 1 500	
冲头	所有情况下		0.6	1.0	1.0							1 100~ 1 300	
针支承	1. 一般情况		0.55	0.3	0.6	0.7	0.1	0.2		1.7		1 150~ 1 300	
	2. 立式挤压机		0.45	0.2	0.5	1.3		0.2	0.5	4.0		1 200~ 1 500	
支承环 模架	1. 一般情况		0.4	0.3	1.5	2.0		0.3				1 100~ 1 300	
	2. 立式挤压机		0.55	0.3	0.7	1.0	0.1	0.5		1.7		1 200~ 1 500	
支持器	1. 一般情况		0.6	1.0	1.0							850~ 950	
	2. 纵向压型嘴式		0.45	0.2	0.5	1.3		0.2	0.5	4.0		1 300~ 1 500	
挤压轴头	1. 一般情况	4XB2C, ЭИ383	0.45	0.6	0.4	1.5	0.8	0.5	0.5			1 400~ 1 600	
	2. 高温高压条件下	ЭИ431	0.3	0.3	0.3	2.8	0.5					1 400~ 1 600	
	3. 立式挤压机上(700℃以下)	3X2B8 3X2B8	0.3 0.3	0.2 0.2	0.3 0.3	2.5 2.5	0.4 0.3		9.0 9.0		2.0	1 400~ 1 700 1 400~ 1 700	700℃以上

续表 15.5-13

工具种类		工具使用条件	钢材牌号	化学成分 (质量分数) /%									钢材抗拉强度 $\sigma_b$ / MPa	备注
				C	Si	Mn	Cr	V	Mo	W	Ni	Co		
挤 压 轴	卧 式 挤 压 机	1. 一般情况	5XHM	0.55	0.3	0.7	1.0	0.1	0.5		1.7		1 500 ~ 1 800	
		2. 高压条件下	4XHB	0.45	0.2	0.5	1.3		0.2	0.5	4.0		1 500 ~ 1 800	
		3. 高温高压条件下	ЭИ383	0.38	1.0	0.4	0.5	0.3	1.3	1.5			1 500 ~ 1 800	
		4. 高热载荷条件下	ЭИ431	0.3	0.2	0.3	2.5	0.6		4.5			1 400 ~ 1 600	
	立 式 挤 压 机	1. 一般情况	ЭИ431	0.45	0.2	0.5	1.3		0.2	0.5	4.0		1 500 ~ 1 800	
		2. 高温高压条件	ЭИ383	0.38	1.0	0.4	0.5	0.3	1.3	1.5			1 500 ~ 1 800	
		3. 高热负荷条件下	3X2B8	0.3	0.2	0.3	2.5	0.4		9.0			1 500 ~ 1 700	
		4. 最高热负荷条件下	3X2B8	0.3	0.2	0.3	2.5	0.3		9.0		2.0	1 500 ~ 1 700	
模 子	1. 一般型棒模	ЭИ383, 4XB2C	0.45	0.6	0.4	1.5	0.8	0.5	0.5				1 400 ~ 1 600	
	2. 特殊管材和 型材模	ЭИ383	0.38	1.0	0.4	5.0	0.3	1.3					1 400 ~ 1 600	
	3. 高负荷下的 型材和管材模	ЭИ431	0.32	0.3	0.3	2.8	0.5	2.8					1 300 ~ 1 500	
	4. 高热高压下 的型材管材模	ЭИ431, 3X2B8	0.3	0.2	0.3	2.5	0.5		4.5 ~ 9				1 400 ~ 1 600	钛合金用 4X4M2B8C 3X2B8Φ
	5. 铝合金舌型 模、组合模	ЭИ431	0.45	0.2	0.5	1.3	0.2	0.75					1 350 ~ 1 500	
	6. 高温高压下 的舌型模、组合模	3X2B8	0.3	0.2	0.3	2.5	0.4		9.0				1 350 ~ 1 500	

表 15.5-14 H 型热作模具钢的化学成分 (质量分数) (%)

AISI 钢号		C	Mn	Si	W	Mo	Cr	V	其他
铬系	H10	0.40	0.40 ~ 0.70	1.00		2.50	3.25	0.40	

续表 15.5-14

AISI 钢号		C	Mn	Si	W	Mo	Cr	V	其他
铬系	H11	0.35	<0.40	1.00		1.50	5.00	0.40	
	H12	0.35	<0.40	1.00	1.50	1.50	5.00	0.40	
	H13	0.35	<0.50	1.00		1.50	5.00	1.00	
	H14	0.40	<0.40	1.00	5.00		5.00		
	H16	0.55			7.00		7.00		
	H19	0.40	<0.40	<0.40	4.25		4.25	2.00	Co4.25
钨系	H21	0.35	<0.40	<0.40	9.00		3.50		
	H22	0.35	<0.40	<0.40	11.00		2.00		
	H23	0.30	<0.40	0.50	12.00		12.00		
	H24	0.45	<0.40	<0.40	15.00		3.00		
	H25	0.25	<0.40	<0.40	15.00		4.00		
	H26	0.50	<0.40	<0.40	18.00		4.00	1.00	
钼系	H41	0.65	<0.40	<0.40	1.50	8.00	4.00	1.00	
	H42	0.60	<0.40	<0.40	6.00	5.00	4.00	2.00	
	H43	0.55	<0.40	<0.40		8.00	4.00	2.00	

表 15.5-15 H 系列热作钢的热处理工艺及硬度

钢号	退 火				淬 火				回火
	温度/℃	冷速/ ℃·h	退火硬度 HBS	预热温度/ ℃	奥氏体化 温度/℃	保温时间/ min	淬火介质	淬火硬度 HRC	温度/℃
H10	845~900		192~229	815	1 010~1 040	15~40	空气	56~59	540~650
H11	845~900	22	192~229	815	995~1 025	15~40	空气	53~55	540~650
H12	845~900	22	192~229	815	995~1 025	15~40	空气	52~55	540~650
H13	845~900	22	192~229	815	995~1 040	15~40	空气	59~53	540~650
H14	870~900	22	207~235	815	1 010~1 065	15~40	空气	55~56	540~650
H16	870~900	22	212~214	815	1 120~1 175	2~5	空气、油	55~58	
H19	870~900	22	207~241	815	1 095~1 205	2~5	空气、油	52~55	540~705
H21	870~900	22	207~235	815	1 095~1 205	2~5	空气、油	43~52	595~675
H22	870~900	22	207~235	815	1 095~1 205	2~5	空气、油	48~57	595~675
H23	870~900	22	212~255	815	1 205~1 260	2~5	油	33~35 <sup>D</sup>	650~815
H24	870~900	22	217~241	815	1 095~1 230	2~5	空气、油	44~55	560~650
H25	870~900	22	207~235	815	1 150~1 260	2~5	空气、油	46~53	565~675
H26	870~900	22	217~241	870	1 175~1 260	2~5	空、油、盐浴	63~64	565~675
H41	815~870	22 <sup>D</sup>	207~235	730~845	1 095~1 190	2~5	空、油、盐浴	64~66	565~650
H42	845~900	22	207~235	730~845	1 120~1 220	2~5	空、油、盐浴	54~62	565~650

续表 15.5-15

钢号	退 火				淬 火				回火
	温度/℃	冷速/ ℃·h <sup>-1</sup>	退火硬度 HBS	预热温度/ ℃	奥氏体化 温度/℃	保温时间/ min	淬火介质	淬火硬度 HRC	温度/℃
H43	815~870	22 <sup>③</sup>	207~235	730~845	1 095~1 190	2~5	空、油、盐浴	54~58	565~650
6G	790~815	22 <sup>④</sup>	197~229	不需要	845~855		油(5)	63	595左右
6F2	780~795	22 <sup>⑤</sup>	223~235	不需要	845~870		油(5)	63	595左右
6F3	760~775	22 <sup>⑥</sup>	235~248	不需要	900~925		空气(8)	63	595左右
6F4	705	⑦	262~285	815	1 010~1 020		油、空气	38~41 <sup>⑩</sup>	
6F5	845	⑧	262~285	不需要	870		油、空气	58~59	
6F6	845	⑨	196	650~750	925~955		油	—	
6F7	670	22	260~300	730	915		空气	54~55	
6H1	845	22	202~235	760~790	900~940		空气	48~49	
6H2	815~845	22	202~235	705~760	980~1 065		油、空气	52~55	

① 可回火进行弥散硬化。② 冷至 540℃。③ 冷至 480℃。④ 冷至 370℃。⑤ 油冷至 175~205℃, 然后空冷。⑥ 进行等温退火, 炉冷至 670℃, 保温 4 h, 再炉冷至 425℃, 然后空冷。⑦ 从退火温度保温后, 即取出空冷。⑧ 鼓风冷至 175~205℃, 然后在静止空气中冷却。⑨ 以每小时 20℃ 炉冷至 425℃, 再加热到 595℃, 然后炉冷至 425℃, 取出空冷。⑩ 以每小时 17℃ 炉冷至 540℃, 再加热到 790℃, 然后以每小时 10℃ 炉冷至 540℃, 取出空冷。

表 15.5-16 国内外常用热作模具钢对照表

日本 JIS	美国 ASTM	英国 BS	德国 VDf <sub>n</sub>	法国 NF	中国 GB	俄罗斯 ГОСТ
	H10	BH10 BH10A	X32CrMoV33 1.236 5	3451 30DCY28 3 452 30DKCY28		
SKD6	H11	BH11	X38CrMoV51 1.234 3	3431 Z38CDV5	4Cr5MoSiV	
SKD62	H12	BH12		3 432 Z38CDWV5		
SKD61	H13 H14 H19	BH13	X40CrMoV51 1.234 4	3541 Z40WCV5	4Cr5MoSiV1	
SKD4		BH21				
SKD5	H21	BH21A	X30WCrV53 1.256 7	3545 Z38WCV9	3Cr2W5V	3X2B8Φ
SKT5					5CrMnMo	5XTM
	H25				4Cr5W2VS	4X5B2ΦC
	H41 H42 H43			3548 Z65WDCV 6.05		
SKT2	6 150					
SKT3	6G					
SKT4	6F2		55NiCrMoV6 1.271 3	338155NiNCDV7	5CrNiMo	5XHM

表 15.5-17 国外发展的与 3Cr2W8V 钢相应钢种的成分表

国别	牌号	化学成分(质量分数)/%							
		C	Mn	Si	Cr	V	W	Mo	其他
美国	H21	0.25~ 0.35	0.10~ 0.40	0.10~ 0.40	3.00~ 3.20	0.25~ 0.60	9.00~ 10.00		
瑞典	2730	0.25~ 0.35	0.20~ 0.40	0.20~ 0.40	2.7~ 3.3	0.25~ 0.35	8.50~ 10.00	0.20~ 0.30	1.5~ 2.0Ni
英国	B121	0.25~ 0.35	0.25~ 0.35	0.20~ 0.30	2.5~ 3.5	0.20~ 0.30	9.00~ 10.00	0.40~ 0.60	2.0~ 0.25Ni
法国	2534	0.30~ 0.40			2.2~3.3	0.15~ 0.50	8.00~ 10.00		
德国	63WMoM348	0.63~ 0.68	~0.25	~0.25	3.5~ 4.0	0.60~ 0.80	8.00~ 9.00	0.80~ 0.90	1.80~ 2.30Co
	30WCrV3411	0.25~ 0.35	0.20~ 0.40	0.15~ 0.30	2.5~ 2.80	0.30~ 0.40	8.00~ 9.00		
日本	SKD5	0.25~ 0.35	0.60以下	<0.40	2.00~ 3.00	0.30~ 0.50	9.00~ 10.00		
俄罗斯	3X2B8Φ	0.30~ 0.40	0.15~ 0.40	0.15~ 0.40	2.20~ 2.70	0.20~ 0.50	7.50~ 9.0		

### 3.7 模具钢真空热处理

随着真空技术和热处理技术的发展,相继发展了气冷、油冷和连续真空热处理等技术。此外,水淬真空热处理,真空化学热处理(如渗碳、渗硼、渗铬、碳氮共渗等)也正在试验研究中。

真空热处理的优点很多,对挤压工模具来说,0.1 Pa的真空度即可满足要求,所以比较容易实现;经真空热处理的工模具可防止表面氧化、脱碳和有净化表面的作用,此外,还有脱脂和脱气作用。因此,真空热处理可改善工模具的热处理质量,减少热处理变形,提高工模具的使用寿命。近年来,工模具的真空热处理发展很快,在某些国家已成为处理挤压工模具,特别是精密模具的一个重要方法。

#### (1) 真空热处理的特点

1) 真空热处理后工件变形很小。实践证明,在真空中加热,在氮气中冷却,工模具最大变形量不超过0.003~0.005 mm,仅为盐浴淬火变形量的1/5~1/10,而且变形均匀,呈规律变化。

2) 可消除工件表面的化学腐蚀现象。在盐浴和吸热式可控气氛中,通常不能与碳势形成严格的平衡,工件表面往往会发生增碳和脱碳,而在足够的真空度( $\geq 0.1$  Pa)中处理的工模具,则可做到既不增碳,也不脱碳。

3) 不氧化,可实现光亮处理。工件表面光亮度可保持在80%以上,真空气冷淬火件的表面光亮度优于真空油冷淬火件。

4) 简化工艺,可实现淬火后少加工或无加工工艺,降低加工成本。

5) 可延长工模具使用寿命。生产实践证明,真空热处理的工模具使用寿命一般可比盐浴淬火提高3倍左右。

此外,真空热处理后的工模具还有硬度分布均匀,质量稳定,安全可靠,可快速加热和快速冷却,节能省时,可实现全过程自动化及无公害操作等特点。

#### (2) 真空热处理典型工艺

表15.5-18和表15.5-19分别列出了铬系、钨系和钼系热作模具钢的化学成分和典型真空热处理工艺参数。

表 15.5-18   钨系热作模具钢化学成分及其真空热处理工艺参数

AISI 钢号	化学成分 (质量分数) /%						预热温 度/℃	淬火加热 温度/℃	真空度 /Pa	淬火介质	回火温度 /℃	处理后硬度 HRC
	C	W	Mo	Cr	V	Co						
H10	0.4	—	2.5	3.25	0.4	—	820	900~1 040	13.3~1.3	惰性气体/油	530~650	40~56
H11	0.35	—	1.5	5.0	0.4	—	820	990~1 030	13.3~1.3	惰性气体/油	530~640	40~52
H12	0.35	1.5	1.5	5.0	0.4	—	820	990~1 050	13.3~1.3	惰性气体/油	530~640	40~52
H13	0.35	—	1.5	5.0	1.0	—	820	990~1 050	13.3~1.3	惰性气体/油	530~640	40~52
H14	0.40	5.0	—	5.0	—	—	820	1 010~1 060	13.3~1.3	惰性气体/油	530~640	40~52
H16	0.55	7.0	—	7.0	—	—	820	1 120~1 180	26.7~13.3	惰性气体/油	530~640	40~54

表 15.5-19   铬系和钼系热作模具钢化学成分及其真空热处理工艺参数

AISI 钢号		化学成分 (质量分数) /%					预热温度 /℃	淬火加热 温度/℃	真空度 /Pa	淬火介质	回火温度 /℃	处理后的硬 度 HRC
		C	W	Mo	Cr	V						
钨系	H20	0.35	9.0	—	2.0	—	820	1 100~1 220	26.7~13.3	惰性气 体/油	530~650	50~62
	H21	0.35	9.0	—	3.5	—	820	1 100~1 200	26.7~13.3		530~650	42~52
	H22	0.35	11.0	—	2.0	—	820	1 100~1 200	26.7~13.3		530~650	42~52
钼系	H41	0.65	4.5	8.0	4.0	1.0	820	1 090~1 190	26.7~13.3	惰性气 体/油	530~650	50~62
	H42	0.60	6.0	5.0	4.0	2.0	820	1 120~1 220	26.7~13.3		530~650	50~60
	H43	0.50	—	8.0	4.0	2.0	820	1 090~1 190	26.7~13.3		530~650	48~58

## 第6章 挤压模修正技术

### 1 概述

在模具设计和制造过程中尽管精心设计和制造,甚至采用 CAD/CAM 系统,力求尽可能完美,但由于挤压型材截面形状繁多和复杂,对尺寸精度要求高,以及挤压生产中各种工艺因素的影响和变化等,使得用设计制造出的模具生产出来的制品,仍难免出现这样或那样的缺陷。因此,还需要现场的修模人员和生产人员根据具体的制品缺陷,进行模具修正和最佳的生产操作。由此看来,总结修模人员的实践经验,寻求正确判断和修模方法,控制最佳的生产条件,使之成为一项专门的生产技术,对提高挤压制品质量和经济效益,并满足用户日益增长的对产品质量和数量的要求,无疑是十分重要的。

#### 1.1 修模原则

金属挤压过程中,由于受到挤压筒壁、模具端面,死区以及模孔工作带的强烈摩擦作用,其流动是很不均匀的。在型材挤压,尤其是复杂截面型材挤压时,金属流动的不均匀现象十分严重。这是因为型材截面本身常常没有对称性,型材截面与铸锭截面的形状也就没有相似性。从而使金属成为非对称流动。此外,形状复杂,各部位壁厚常常不同。薄壁处的比表面大于厚壁处的比表面,故金属冷却速度快,且金属变形程度大,流动速度小于厚壁处的流动速度。挤压时,金属的不均匀流动会导致型材制品中产生很大的附加应力,从而产生各种缺陷。如尺寸不稳定,多根型材长短不一、扭拧、弯曲、波浪等,严重时会产生裂纹等废品。为克服因金属流动不均而产生的上述缺陷,必须研究如何使型材截面上各部分金属流出的速度一致,这是模具设计和制造人员应遵循的基本原则,也是修模人员所应遵循的基本原则。

虽然影响金属流出模孔速度的因素很多,但可归纳为如下两个基本因素:

1) 供给型材截面上各部分的金属分配量是

否合适——即型材各部分截面积之比与相应供给部分的金属量之比是否相等。

2) 金属流动时,所受摩擦阻力的大小——当供给型材某一部分的金属量越多,摩擦阻力越小时,型材这一部分模孔的流出速度就越快,反之就越慢。

金属供给量的分配比例,主要是由模具设计和制造来确定的。当模具制造出来之后,金属的分配比例就基本固定了。当然,对于平面分流模及带有各种用途的前置模的模子,其金属供给量还可以调整,设计人员必须力求合理分配。如果分配不合理,导致型材各部分流速不均匀,给修模带来一定困难,严重时甚至无法修模。

就多数模具而言,虽然金属分配量已经确定,但金属与模具之间的摩擦阻力却是可以改变的。从而可以利用它达到调整金属流速的目的。

流变金属与工模具之间的摩擦力由两部分组成:一部分是金属与挤压筒壁、模具端面之间的摩擦,另一部分是金属与模孔工作带表面间的摩擦。

流变金属与工模具端面间的摩擦力为:

$$F_1 = f p A$$

式中  $F_1$  ——金属与模具端面间的摩擦力 (N);

$f$  ——摩擦系数;

$A$  ——金属与模具端面的接触面积 ( $\text{mm}^2$ );

$p$  ——单位面积上的正压力 (MPa)。

当产品与模子一定时,  $p$  和  $A$  是一个定值,所以对摩擦力有影响的是摩擦系数  $f$ 。因此,改变金属与模具端面的摩擦条件,就能起到调整金属流动速度的作用。

流变金属与模孔工作带之间的摩擦力:

$$F_2 = f_1 p \sum A_i = f_1 p \sum_{i=1}^n l_i h_i$$

式中  $F_2$  ——流变金属与模孔工作带之间的摩擦力 (N);

$f_1$  ——摩擦系数;

$l_i$  —— 金属与模孔相接触部分的第  $i$  段工作带周长 (mm);

$h_i$  —— 金属与模孔相接触部分的第  $i$  段工作带的长度 (mm)。

当产品与模具一定时, 单位正压力  $p$  与型材各部分的周长  $l_i$  是一个定值, 而当各部分的表面状态和润滑条件相同时, 摩擦系数  $f_1$  也可认为是不变的, 因此, 只要调整模孔工作带的长度, 就可以调整金属流出模孔的速度。

综上所述, 改变金属的分配量, 摩擦条件, 工作带长度和挤压速度均可调整金属流出模孔的速度。

模具修正主要侧重调整金属分配比例, 接触摩擦条件及模孔工作带长度等各种行之有效的方法来改变金属的流动特性, 使金属均匀地流出模孔。

## 1.2 修模方法

### 1.2.1 修模前的检查

修模人员必须熟练地掌握有关模具质量的检查技术, 才能正确地分析和判断制品缺陷产生的原因, 从而进行有成效的修模。

#### (1) 挤压设备的检查

修正任何一种挤压模具, 首先必须充分了解使用模具的挤压机的工作情况和性能, 可能出现的主要问题如下:

1) 挤压中心偏离 挤压中心偏离是指模子和铸锭不同轴。中心偏离会使制品产生扭拧、波浪、尺寸不稳定和长短不齐等缺陷, 如图 15.6-1b 所示。

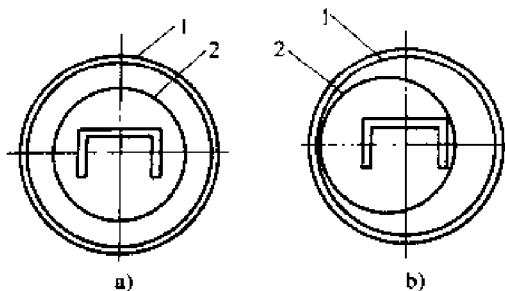


图 15.6-1 铸锭与模子同轴与不同轴对比  
1—模子 2—铸锭

2) 使用滑动模架不合理 挤压机的滑动模架是挤压机制造者根据挤压机尺寸确定的。当挤压操作人员采用了错误的空位模架时, 必须进行调整。

3) 支承垫不平 如果支承垫不平或中心孔太大, 这将出现工具变形过大的问题, 使工作带失效, 或模孔变小等。

4) 挤压筒衬套与挤压垫磨损 使用磨损的挤压筒衬套会产生“大幅”问题, 而且在挤压制品上会出现起皮、气孔、成层等缺陷。

挤压垫磨损过大, 会在挤压筒衬套上留下较多的铝, 待挤压下一个制品时, 又被刮掉一些, 因而会在制品上出现成层、起皮等缺陷。垫片太大或裂损又会啃伤筒衬套。

#### (2) 模子的检查

1) 模孔尺寸检查 修模前必须仔细测量模孔各部位尺寸, 修模人员应保证修正后能挤出尺寸偏差最小的制品, 如果模孔过小, 超出极限下偏差就应用锉刀把模孔向外开。若尺寸大, 就应用打模锤将大的部位往回打, 但打完后一定要光一下模孔, 这样做才能保证挤出的制品表面上不出现凹凸痕迹。

2) 工作带检查 修模前必须检查模孔工作带是否与模面相垂直, 若工作带外斜, 金属流动受阻 (相当有个阻碍角)。工作带内斜, 则使金属流动加快, 如图 15.6-2 所示。

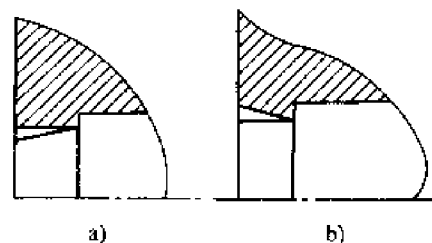


图 15.6-2 工作带内、外斜  
a) 内斜 b) 外斜

3) 模孔摆放检查 当模孔放置不正确时, 制品可能由于自重引起扭拧。壁厚相差悬殊的型材, 若薄壁处离挤压筒中心较远, 可能造成充填不满, 尺寸变小。

4) 分流孔和分流桥检查 在挤压类似矩形管时, 由于分流孔加工的不对称, 或分流桥偏离中心线, 都会使制品流速失去平衡而产生一侧出现洗衣板式的波浪。

5) 模芯检查 模芯过渡处对空心型材的内孔尺寸控制起着决定性的作用。若此处加工不对称或不合理, 将使型腔的尺寸发生改变, 角度歪斜, 致使制品形位尺寸超差。



### 1.2.2 试模验收

模具制作完工进入挤压现场后,在试模之前,必须经过检查验收,检查验收的主要项目是:模子外形尺寸,与模套的配合尺寸,销钉孔位置,型孔的外形尺寸和壁厚,工作带尺寸,空刀量等。

模子经验收合格后方可加热投入使用。在正式生产之前,先用1~2个铸锭进行试挤,不要涂油,仔细观察制品出模孔的情况,然后将制品前、中、尾取样,测量其尺寸。用前端料头可以判断型材截面上那部分金属流得是否过快或过慢,一般是首先把壁厚修正到符合要求,然后再做其它修正。

试模时,挤压温度、挤压速度、操作方法等工艺条件应尽量和生产时相同,并按此进行修模。

在试模中若发现挤压中心偏移,尤其在挤压多孔制品时,模子修正显得更为复杂。因为要调整所有的型材模孔。但是处理的程序还是和单孔模一样,靠近铸锭外缘的模孔流速小于靠近铸锭中心的模孔流速。如图15.6.3所示。所以在模子上流速慢的孔必须使金属流速加快,使之与流速快的孔相一致。

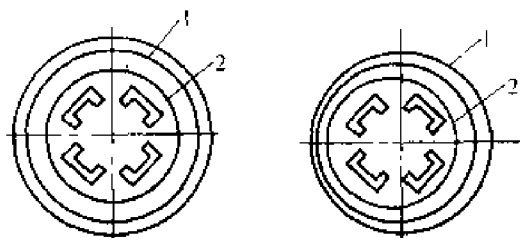


图 15.6.3 模子中心偏移的修正  
1—模子 2—铸锭

如果挤压筒的中心经常偏离而且不好调整时,可做个偏心模套来解决,此法是行之有效的。

## 1.3 修模依据

经过上述检查与试模后,对金属的流动情况,以及制品缺陷进行分析和研究,以作出模具修正的正确判断和修正依据。

在修模时,修模人员应注意以下几点:

1) 要正确判断修模部位,采取正确的修模方法。

2) 作阻碍角时,锉刀一定要拿平,做出的阻碍角一定要平直,切不可锉成圆弧状,呈圆弧状工作带反而起使金属流速加快作用。

3) 工作带进行阻碍修模之后,一般不得再进行使流速加快的修模,反之,对已经加快的工工作带一般也不得再进行阻碍。因为在同一工作带处进行阻碍和加快,容易使模孔尺寸超差。

4) 在进行模孔尺寸修正时,要综合考虑。例如:在两个以上的尺寸不合格时,要考虑其相互影响,争取做到修一处尺寸能达到满足两处尺寸的要求。如扩大了模孔同时会增加金属的流速。

5) 光模时用锉要轻,防止模孔尺寸超差。

## 2 挤压模修正基本方法

模具修正的基本目的在于调整金属流速达到基本均匀,并使制品尺寸达到理想状态。通常采用的基本修模方法有阻碍、加快和尺寸修理。

### 2.1 阻碍法

降低金属流出模孔速度的修模方法称为阻碍。常见的阻碍方法有4种:①做阻碍角;②补焊工作带;③堆焊;④打麻点。

(1) 做阻碍角

在模子工作带入口处,修成一定角度(一般用锉刀锉成 $3^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 的角)称为阻碍角,如图15.6.4所示。

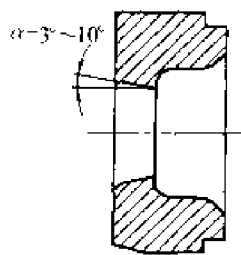


图 15.6.4 锉阻碍角

做阻碍角是一种常见的修模方法,当阻碍角超过 $18^{\circ}$ 时,不再起阻碍作用。

(2) 补焊工作带

在模子工作带的出口端,根据需要再焊上一段工作带,如图15.6.5所示。其目的是增加这部分工作带的长度,以加大金属流动的阻力。

(3) 堆焊

在模子端面上,需要阻碍的模孔周围焊起一

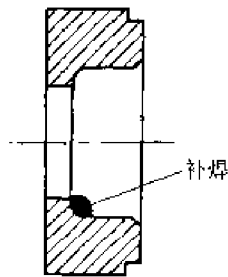


图 15.6-5 补焊工作带

道凸台，形如一堵墙，以增加金属的流动阻力，如图 15.6-6 所示。

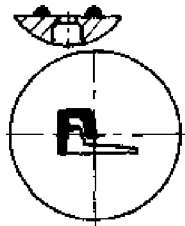


图 15.6-6 在模孔流快处堆焊

#### (4) 打麻点

在模子端面上需要降低金属流速部位的模孔周围打上深 0.3~1 mm，直径为 1~3 mm 密集小坑，借以增加金属与模子端面的摩擦阻力，如图 15.6-7 所示。

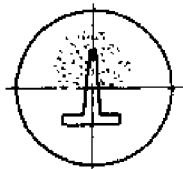


图 15.6-7 打麻点示意

分流模的阻碍方法与平模不同，可分两部分进行。如果判断出空心型材内腔流速过快，应多在上模上下功夫：一是可在模桥上作阻碍角，如图 15.6-8 中 a、b 所示；二是在模芯上距工作带 10~20 mm 处，堆焊一道凸台，或在模桥与模

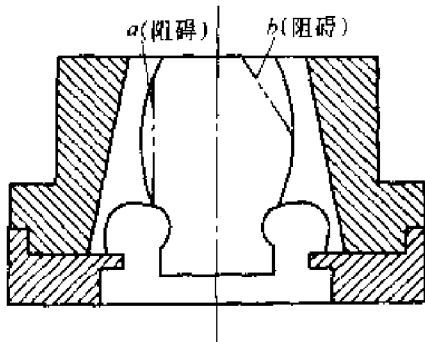


图 15.6-8 分流模上模阻碍

芯连接处堆焊凸台。

若型材出现塌腔，说明型腔外部金属流得快，可在下模焊合室内模孔流速快处进行堆焊，也可在平行于模孔，距离约为 5 mm 处磨几条浅沟槽，可有效地降低该部分模孔的流速。沟槽的斜度、深度和距模孔的距离不同，对流速的影响也不同。这种方法虽不常用，但当工作带已经修正过仍不能调整好金属流动时，可以考虑采用此种阻碍方法。

## 2.2 加快法

使金属流出模孔速度提高的修模方法称之为加快法。

加快的方法有减薄工作带、做促流角、扩大模孔、做促流坑、改变舌头形状、调整分流孔大小和加导流模等。

### (1) 减薄工作带

减薄工作带又分前加快和后加快。

1) 前加快 在模子端面上将需要加快部位的工作带用砂轮磨掉一部分，以减短工作带长度，从而加快金属流速，这种加快方法称之为前加快，如图 15.6-9 所示。磨削时，其范围应尽可能稍大一些，而且要平滑，否则会起相反作用，但这种方法会缩短模子寿命。

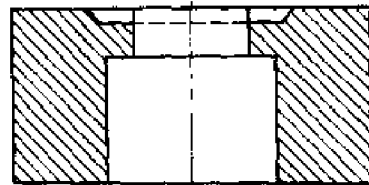


图 15.6-9 前加快修模示意

2) 后加快 用风动砂轮或小锉刀，从模子出口端伸入到工作带处，通过打磨缩短工作带的长度，从而使金属流动加快，如图 15.6-10 中 a 处所示。

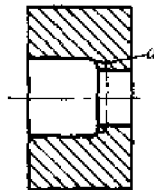


图 15.6-10 后加快示意

### (2) 做促流角

用砂轮在模子工作带入口端打一个斜角,此斜角称为促流角,一般与模面角不超过  $30^\circ$ ,此角增加了金属流向模孔的合力,使金属流动加快。见图 15.6-11。

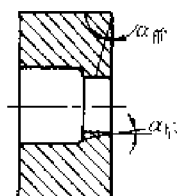


图 15.6-11 促流角

### (3) 扩大模孔

在多孔挤压时,把流速慢的一孔或两孔,在壁厚公差允许的情况下,把模孔开大一点会显著地提高金属流速。

### (4) 分流模加快

分流模的加快需要判断是需要加快上模还是下模。若加快上模,可用风动砂轮把模芯和模桥的连接处的突起磨掉一部分,如图 15.6-12 中  $a$  处所示,以增加金属的流量。

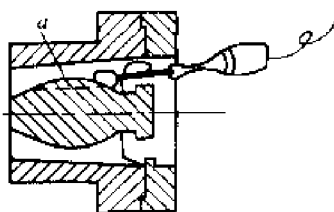


图 15.6-12 分流模上模的加快

若需要加快下模,就和加快平模一样采用前加快或后加快的办法来增加金属的流动。

另一种方法是通过调整分流孔的大小,来改变金属的流量和流动趋势,从而达到调整金属流速的目的,如图 15.6-13 中  $a'$  和  $b'$  所示。

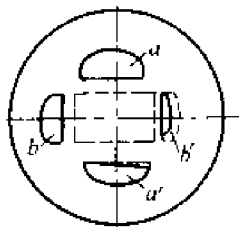


图 15.6-13 分流孔加快

## 2.3 修理法

挤压型材的尺寸(壁厚和外形)不符合公差

要求时,应对模孔尺寸进行修理,制品尺寸小时需要扩大模孔,反之,需要缩小模孔。

### 2.3.1 扩大模孔尺寸

扩大模孔尺寸时,用锉刀将需扩孔处的工作带锉掉一部分。扩孔时锉刀一定要与模面垂直,确保修模后工作带表面不内斜或外斜,应与模面成  $90^\circ$  角。

扩大模孔时,要准确掌握扩大量,扩大量较小时,可凭经验掌握,扩大量超过  $0.5\text{ mm}$  时应该使用量具(块规),准确地测量修模前后的模孔尺寸,以保证修模质量。

### 2.3.2 缩小模孔尺寸

缩小模孔尺寸比扩大模孔尺寸困难,采用的方法有打击法和补焊法。

1) 打击法 打击法就是使用打模锤,在距模孔工作带  $3\sim 5\text{ mm}$  处敲打。在敲打之前必须先将模子加热到  $300\sim 400^\circ\text{C}$ ,打击时,锤的刃部应与工作带平行,一遍又一遍的敲。在距工作带  $3\sim 5\text{ mm}$  处形成一个小沟。要掌握好沟的深浅和宽度必须保持一致,这样挤出的工作带才能均匀,然后再将突出尖部锉平,达到所要求的尺寸,见图 15.6-14 所示。

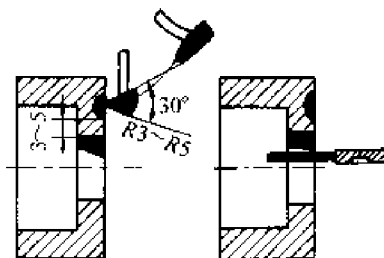


图 15.6-14 打击法缩小模孔尺寸

打击时,应注意打模的位置,当打模的位置距模孔太近时,易将工作带打塌,使模孔报废,而距离过远时,又不易起到缩小模孔的作用。打模锤刃部的两斜面夹角为  $30^\circ$  左右,刃部不宜太锋利,一般呈圆角(圆角半径为  $3\sim 5\text{ mm}$ ),表面应坚硬、光滑、硬度要大于模具表面硬度。

打模时应根据情况最好打击流速快的一侧,这样既缩小了模孔尺寸,又起到阻碍作用,达到综合修理的效果。

2) 补焊法 焊前将焊处预热到  $300^\circ\text{C}$  左右,用与模具材料相同的焊条进行补焊,焊后要缓冷

并打磨抛光至表面粗糙度  $Ra0.8 \mu m$  即可。

### 3 实心型材挤压模的修正

在实际生产中,要求根据挤压制品缺陷的具体情况,正确判断其产生原因,然后采用恰当的修模方法。

下面就挤压型材常出现的缺陷形式、生产原因,以及相应采取的修模方法做些简单的介绍。

#### 3.1 扭拧

在挤压铝型材时,型材截面在沿长度方向上,以某一轴心而转动,称之为扭拧。在技术条件中对各种不同截面的型材,规定有不同的扭拧度。

扭拧主要有两种形式,麻花状扭拧与螺旋状扭拧。

##### (1) 麻花状扭拧

当型材在挤压过程中受到与挤压方向垂直的力矩作用时,就要发生转动,其结果使型材发生扭拧,当型材一个壁的两侧工作带长度不一致时,两侧金属流速不均,当这种流速不均面沿同一方向排列时,就会使型材在横截面上产生力矩,从而导致型材扭拧,如图 15.6-15 所示。

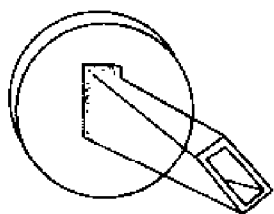


图 15.6-15 麻花状扭拧

判断方法:型材端头各处流速差不明显,有一纵向对称轴,型材扭拧好象绕此轴进行旋转,同时,型材平面间隙不好,流速快的一侧凹下。

修正方法:在流速快的一侧(型材平面凹下的一侧)工作带上作阻碍或将另一侧进行加快处理,使之产生一个反向力矩,借以消除扭拧。

##### (2) 螺旋形扭拧

当型材一个壁的流速大于其它壁的流速时,流速快的壁越来越比其它的壁长,致使流速快的壁绕流速慢的壁旋转,从而产生螺旋形扭拧,见图 15.6-16。此型材为槽形,型材的 A 壁比 B 壁的流速快, A 壁长度越来越比 B 壁长。结果 A 壁绕 B 壁旋转而产生螺旋形扭拧。

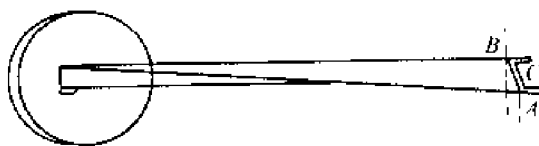


图 15.6-16 螺旋状扭拧

判断方法:型材端头不齐,流速快的壁比流速慢的壁先流出模孔。A 壁端头比 B 壁端头突出,槽底板会出现侧弯。沿纵向看,可以看出型材一壁沿另一壁旋转。

修模方法:判断准确之后将型材流速快的部位加以阻碍。

#### 3.2 波浪

型材总体上平直,但型材个别壁上出现或大或小的波纹状不平现象称波浪。

产生原因:当型材某壁流速较快,但因刚性较小形不成扭拧时,此壁便受到因变形不均而产生的压缩应力作用,结果产生纵向周期性弯曲,即波浪,如图 15.6-17 所示。

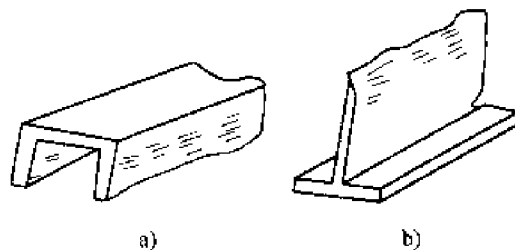


图 15.6-17 型材的波浪

a) 槽形 b) 丁字形

修正方法:在流速快的部位的工作带做阻碍或慢的部位工作带做加快处理。当波浪小且波距较长时,可以在流速慢的部位涂抹润滑油来消除波浪。但根本的办法还是对流速慢处的工作带作加快处理。

#### 3.3 刀形弯曲

在刃尾及扁条型材挤压生产中时有发生刀形弯曲,如图 15.6-18 所示。



图 15.6-18 型材刀形弯曲

产生原因：在扁长形型材截面上的两端部位流速不一致，不形成扭拧和波浪时，便产生侧弯，即刀形弯曲。

修正方法：把流动慢处加快或流动快处阻碍

### 3.4 扩口和并口

扩口和并口主要发生在槽形型材上，如图 15.6-19 所示。

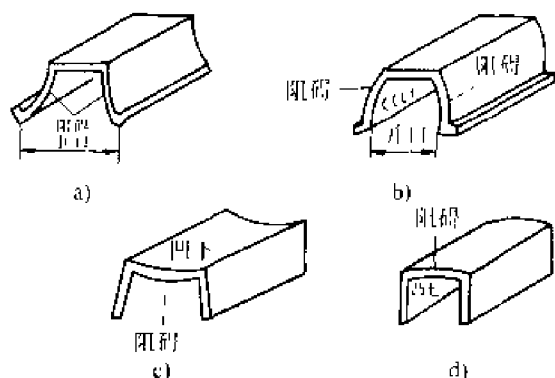


图 15.6-19 槽形型材扩口、并口示意

a) 扩口 b) 并口 c) 凹下 d) 凸起

产生原因：由于槽形或类似槽形型材的两个“腿”部（或一个腿部）工作带两侧流速不一致，使得腿向外（扩口）或向内（并口）变形。此外，由于槽底板的两侧工作带流速不一样，造成外凸起（并口）或凹下（扩口）。

修正方法：如果腿与槽板间的角度过大和过小时，修正的方法是应该同时进行阻碍和加快，以使腿向着所需要的方向偏移。例如，当腿向外（角度过大）时，应将腿部位模孔工作带内侧阻碍，外侧加快。腿向内（角度过小）时，将腿部位内侧工作带作加快处理。

### 3.5 平面间隙

型材平面沿纵向和横向产生的不平度称为间隙。间隙产生的原因是型材某部分工作带两侧金属流速不一致。沿纵向的弯曲即产生纵向间隙，沿横向的弯曲即产生横向间隙，如图 15.6-20 所示。

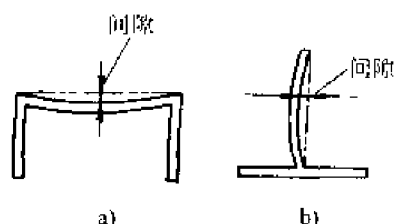


图 15.6-20 型材的间隙

a) 纵向 b) 横向

修正方法：将流速快的一侧（凹下去的一侧）工作带加以阻碍。由于模具弹性变形而引起的尺寸变小及表面间隙不好，可将悬臂部端面工作带作为一外斜角，如图 15.6-21 所示。这样可以解决此外壁厚偏小和间隙不良的问题。图 a 所示为悬臂部分在压力下发生弹性变形而下塌，这样导致槽形型材此处壁厚变小及间隙不良。为此，在修模时，将悬臂部分端面工作带作一外斜角，且面对悬臂的工作带作得较正常情况稍长些，这样，当悬臂部分受压力下弯时，其工作带在出口处仍能与对面的工作带保持平行，如图 b 所示。

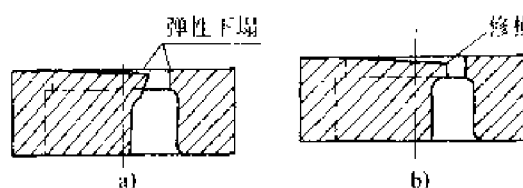


图 15.6-21 由模具弹性变形引起壁厚变小和间隙

### 3.6 金属充填不足

挤压如图 15.6-22 所示的扁条状型材时，常常是宽度  $L$  的偏差超过极限下偏差，两端的壁厚尺寸（图中  $a$  和  $b$  处）的偏差超过极限下偏差，这是由于  $a$ 、 $b$  处靠近模芯边缘，距挤压筒边缘近，金属流动阻力大，易造成金属充填不满的现象。另外一方面，由于型材中间部位较厚，又处于挤压筒中心位置，阻力小，金属流速快，使  $a$ 、 $b$  处所受拉力较大，将其拉薄，同时， $L$  尺寸变小。处理时，可将  $a$ 、 $b$  两处工作带减短，或增大模孔尺寸，以及采取局部润滑等方法。

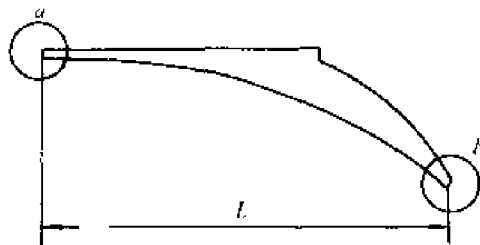


图 15.6-22 模孔充填不足的型材示意

对于外接圆大，壁厚差很大的型材（图 15.6-23），立边薄壁部外缘挤压时容易超过极限下偏差，总高度尺寸也易超极限下偏差。这是因为型材中间壁厚大，且靠近筒中心，金属流速快，对流速慢的两立边产生很大的拉应力，再加

上外缘部分金属流动阻力大,金属不易充满,结果使立边壁厚变薄,外形尺寸变小。

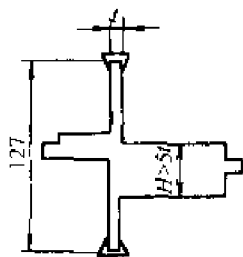


图 15.6-23 壁厚差大的型材

这类型材修模时,两立边工作带要在型材高度方向上逐渐变小,壁厚尺寸要逐渐扩大,直到制品尺寸合格为止。此时的模孔尺寸远远大于型材的公称尺寸。

对于深槽形型材的槽底部(如图 15.6-24 所示),模具上悬臂部分在挤压时易产生弹性变形,致使槽底壁厚常常超极限下偏差。对这类型材模具,在设计模具时,为了加强悬臂处的刚度,往往加大模具厚度,并配上专用支承垫。此外,对模孔尺寸要有意识地加大,工作带作成外斜角,这样可以增加槽底的壁厚。

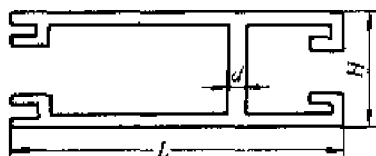


图 15.6-24 深槽形型材

## 4 空心型材挤压模的修正

### 4.1 空心型材模修正的特点

挤压空心型材用的模具主要有桥式舌型模和平面分流模如图 15.6-25 所示,前者主要用来生产成形较难的硬铝合金产品,而后者主要用来挤压软合金制品,如民用建筑型材等。随着挤压技术的发展,平面分流组合模获得了广泛的应用。目前,铝合金空心制品有 90% 以上使用平面分流模来进行挤压。

空心型材的挤压属于经二次变形的焊接挤压,由于空心型材的种类繁多,结构要素和挤压中的变化参数也很多,修模者必须很好地掌握各种模子的结构特点,挤压时的工艺特性,各种缺陷形成的原因,从而选用最佳的修模方案。

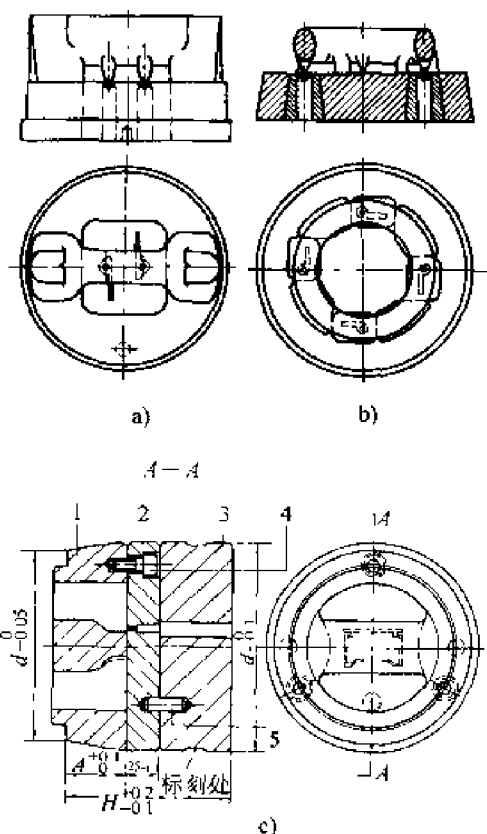


图 15.6-25 空心型材挤压模  
a)、b) 舌型模 c) 平面分流模  
1—上模 2—下模 3—模垫  
4—螺钉 5—销钉

桥式舌形模的修理原理基本上与平面模相同,但对于较小的空心型材来说,舌头较细,因金属流出模孔速度不均的影响,在挤压过程中容易弯曲而导致型材内孔偏心。处理偏心的方法,一般是在小模套与外套的配合面上加铜皮调整。

平面分流组合模的修正要复杂得多。虽然对于模子的工作带有各种不同可供修正的方案,但对于设计正确的空心模,在很多情况下,只需要对模孔进行抛光或对“金属流动”进行调整就够了,根本用不着修正工作带本身。

要修正平面分流组合模的“金属流动”情况,首先应仔细检查模孔,观察分流孔的相互配置、形状和面积大小,以确定某一分流孔与其对应的其它分流孔供给的金属流量是否相互平衡。因此,对于任何断面的型材,可通过扩大或限制流量来加快或减慢金属的流速。

在挤压空心型材时,有时会出现挤压不动(闷车)的现象,其原因可能是分流孔面积太小

(即分流比太小)、入口角度不当、连接不合理、舌头周围供料不良或舌头在挤压时发生晃动,当然,也可能是铸锭选择不当,挤压温度过低,所需挤压力过大等工艺方面的问题。查明主要原因后,应对分流孔进行修理(一般是扩大或抛光)。

在挤压空心型材时,金属沿分流组合模的整个芯轴流动,摩擦行程是相当长的,因此,应对芯轴的结构、过渡形式和表面状态进行精心的处理,以减少流动阻力。

## 4.2 缺陷产生的原因及修正方法

下面主要讨论用平面分流组合模挤压空心制品时常出现的缺陷及处理方法。

### (1) 四壁凹下

产生原因:大多数情况是由于模子刚性不够,挤压时发生弹性变形(见图15.6-26),使舌头的实际工作带缩短,流速增加而引起四壁凹下。若仅一壁或两壁、三壁产生这种情况,那么,也可能是舌头与模子工作带配合不良所引起的流速不均造成的。

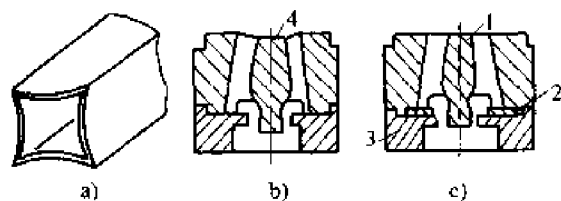


图15.6-26 方管四壁凹下及其修理方法

a) 四壁凹下的方管 b) 发生弹性变形的模子  
c) 加垫修理

1—舌头 2—加垫片 3—模子 4—弹性变形处

修理方法:在舌头和模子之间加入适当厚度的垫片,然后从上、下模的外端面去掉与垫片相同的厚度,以保持模子总厚度不变。如果是个别壁凹下,则可将该处的舌头工作带加以阻碍,或在相应处减薄模子工作带。

### (2) 四壁外凸

产生原因:经多次挤压或其它原因,舌头工作带磨损出现凹坑(见图15.6-27),阻碍金属沿舌头表面流动造成型材外侧流速较内快,从而引起四壁外凸。如仅一壁或两、三壁外凸,也可能是由于舌头工作带与模孔工作带配合不当,即舌头工作带伸出模孔工作带过长引起的或者是由于“舌头”局部磨损所致。

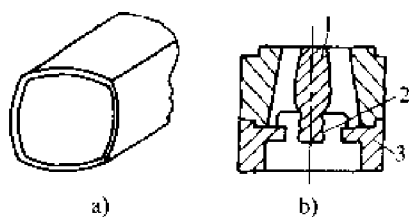


图15.6-27 方管四壁外凸修理方法

a) 四壁外凸的方管 b) 已磨损的模子  
1—舌头 2—工作带磨损 3—下模

修理方法:当型材壁厚尺寸偏小时,可将舌头工作带凹坑锉平,减少摩擦阻力,或将模子工作带加以阻碍。如果壁厚尺寸不允许锉修舌头,那么,只得更换新模。当只有个别壁厚外凸时,则可阻碍相应壁处的工作带。

### (3) 扭拧与侧弯

产生原因:与用平面模挤压型材时产生扭拧与侧弯的情况相似,主要是由于金属供给不平衡所引起的流速不均造成的。图15.6-28a、b为方管的扭拧和侧弯示意图。引起流速不均的原因除了工艺因素(如铸锭温度不均等)外,主要是工作带设计不合理,模孔排列不当和分流孔供给金属不平衡。如图15.6-28c中的分流孔3、4面积不等,分流孔1、2面积虽然相等,但2较1更远离中心,因此,造成四孔的金属供给和摩擦阻力不相等,因而引起型材各壁流速不均,造成侧弯和扭拧。

修理方法:主要是调整分流孔的面积及其分布,即将4孔扩大,使其面积与3孔相当;将2孔向上扩大,使其与中心的距离基本和1孔的相同。如果扭拧和侧弯是由于工作带长短不一致引起的,则可修理工作带以加速或阻碍金属流动。在进行多孔模挤压时,为了减少扭拧,最好不要取放射型排列,而应尽量选用水平式排列。

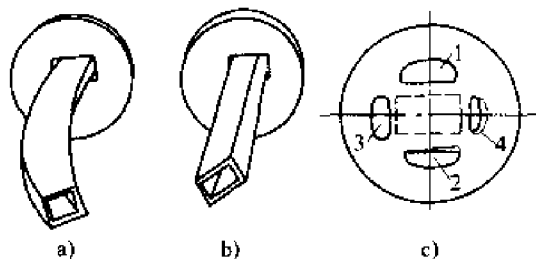


图15.6-28 方管的扭拧、侧弯及修理方法

a) 侧弯 b) 扭拧 c) 分流孔的分布及修理

### (4) 角变形

产生原因:在挤压方管、矩形管或类似产品

时,由于工作带不当或其它原因造成流速不均,一边受拉,一边受压,致使产品的角度变形,甚至出现外凸内凹和间隙不合格等缺陷,见图15.6-29。

修理方法:准确判断属于哪一侧的问题,采用阻碍或加速的方法修正,如图15.6-29b示出了锉修工作带多余部分的示意图。

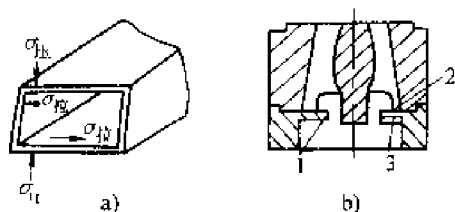


图15.6-29 角变形及修理方法

a) 角歪斜的方管 b) 平面分流模

1—薄工作带部分 2—厚工作带部分

3—应锉修的工作带部分

#### (5) 角裂

产生原因:挤压空心型材时产生角裂的原因很多,除了诸如铸锭表面不干净,有油污,铸锭温度低,挤压速度快等工艺因素外,模具因素也是一个十分重要的原因。焊合室的面积和高度或焊合室的体积与制品断面积之比太小,金属供给不足或所形成的静水压力过小等都会引起制品角部焊合不良或撕裂,见图15.6-30a。一般来说,焊合室的面积与制品面积之比应大于4,焊合角一般在 $30^\circ$ 左右为好,最大不得超过 $45^\circ$ ,焊合室的高度由桥宽来决定,一般按下式确定:

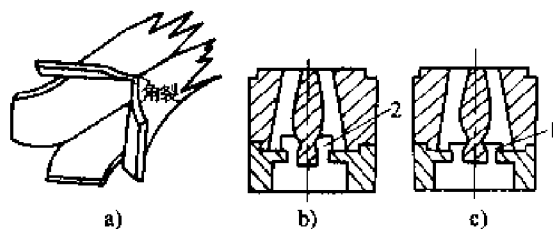


图15.6-30 方管角裂及修理方法

a) 产生角裂的方管 b) 有合理焊合室的模子

c) 焊合室过小的模子

1—焊合室过小 2—焊合室正常

$$H = B / 2 \tan 60^\circ$$

式中  $H$ ——焊合室的高度;

$B$ ——模桥的宽度。

修理方法:首先检查和调整工艺条件,如尚不能消除角裂时,应用砂轮打磨、扩大焊合室的

面积和高度,并修理焊合角使之有利于金属流动与焊合。

## 5 模具修正相关问题

修模人员必须了解那些与模具修正直接有关的问题,例如结构条纹、模芯抛光及挤压研磨、模芯渗氮、导向装置、受料工作台和牵引设备等。这些问题都直接与挤压制品弯曲、扭拧、表面质量和生产效率有关。

### 5.1 结构条纹

结构条纹指挤压型材的表面经过抛光、腐蚀和阳极氧化处理后,某些部分的颜色同其它部分有差别。虽然结构条纹在工厂生产和最终使用中很少引起报废,但是有时在挤压后再进行表面抛光,特别是经过抛光后,进行腐蚀和阳极氧化处理时,型材表面上结构条纹非常明显。最常见的结构条纹是与基体金属部分呈不同颜色的条纹。例如6063铝合金的条纹颜色通常是由灰到黑;其他合金的条纹大多数呈不同的灰色暗影。结构条纹是由于这些部分的晶粒大小和晶粒取向不同而引起的;或者说,是由于这一部分和其他部分的金属组织不同所引起的结果。

结构条纹是由一种或多种原因产生的,按其产生的原因有以下三种:工作带条纹、金属组织条纹和氧化条纹。

1) 工作带条纹 当光线从未处理的型材表面反射时,显现出“挤压线条”或“热线”暗影,从各个不同角度观察制品表面时,这些影线时而出现,时而消失。这种情况常常是由于模芯整个工作带不平,产生连续的倾斜或凹下。这些条纹在型材抛光和阳极氧化时变得更加明显。

工作带的尖锐变化角也会引起条纹产生,这是由于金属流动不均匀,或者金属供给不足造成的。必须注意保证所有工作带呈圆滑过渡,以减少型材表面上的工作带条纹。

工作带入口和出口的圆角称为刃口圆角。不良的刃口圆角能使型材表面在较宽平面上产生条纹。工作带刃口应该呈尖锐状并无缺陷,以保证金属良好地进入和流出模子,从而消除条纹。

2) 组织条纹 铝合金挤压后的晶粒大小与挤压温度、热加工变形程度和再结晶程度有关。由于受这些因素影响,同一根型材的不同部分的



晶粒大小是不同的。升高或降低温度可以消除大晶粒问题,但是,对某些合金和型材常常很难解决。对于空心型材,由于采用较长工作带,挤压时容易引起过热,在型材较宽的表面部位可能产生条纹。为了获得最佳效果,建议根据生产实际情况,尽可能缩短工作带长度,并带有最小阻碍角。在空心型材挤压时采用反向工作带,以使工作带出口都在同一平面上,有助于减轻晶粒大小和取向不同所引起的条纹。

3) 氧化条纹 氧化条纹在挤压表面上很难分辨。在挤压表面上出现的不同宽度的发暗区域可能是氧化条纹,并且在蚀洗或阳极氧化后更明显。氧化条纹可以完全消除,或者大大减轻,使很宽的条纹变成很短的细线。

氧化条纹产生的主要原因是挤压中心偏离,使氧化物从毛料外层(挤压前一个铸锭时残留在筒内的氧化物)进入型材中。遇到这个问题时,在装模芯之前应检查挤压机的对中心情况。

影响氧化条纹的其他原因是:①型材截面靠挤压筒壁太近;②挤压筒温度太高,引起挤压氧化;③挤压筒内积存过多的残留物。

由于模子原因产生的条纹部位的不同可采用如图 15.6-31 所示的一些判断方法。

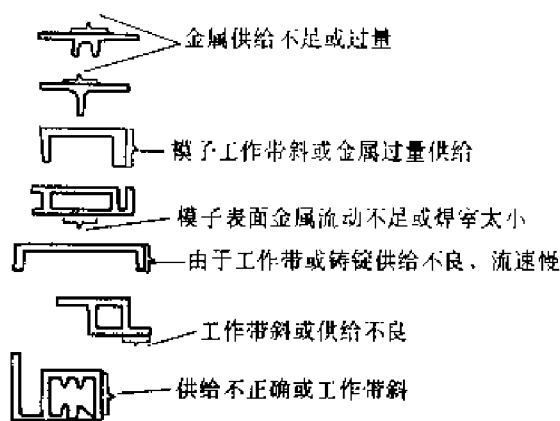


图 15.6-31 模子不良产生条纹的判断方法

为了保证前述的最佳工作带条件,必须严格检查和控制有危险部位设计的模子修正。工作带应平直,并且尽可能地均匀抛光,使工作带相对于模子端面垂直或者略呈阻碍,且不要做成圆角,也就是说,模子应尽可能地接近最佳状态。

在设计模具时,应力求消除阻碍,使金属流动畅通。例如分流模焊合室的“死区”应做成流线形,使供料孔产生最大剪切以减少摩擦热;在

焊接部位的焊合腔应尽可能加大,且力求使金属成直线流动;使分流孔加高,金属相对于模芯表面成垂流流动,随后在模芯桥下重新焊合。桥或针的支撑部应尽可能地接近整个空心模孔,这样可获得均匀的金属流动。分流孔和挤压型材外接圆总是要小于挤压筒直径,但每边至少留有 13 mm 的余量,然而,在某些情况下仍然显得不足。

## 5.2 挤压珩磨抛光

模孔用手工研磨,一个模子需要好几个小时,且质量因操作者技术而异。挤压珩磨抛光为模具抛光提供了半自动化的新工艺,仅需一般技术水平的工人操作即可,时间缩短到几分钟,还能保证质量。

挤压珩磨抛光系统有三个主要部分:挤压珩磨机(控制介质的流动)、工具附件、特殊配制的磨料。

磨料均匀地掺和在半固态基质中构成介质。该基质(粘附剂)是挤压珩磨公司制造的并在成分上具有专利权的聚合物。聚合物基质内的润滑剂按严格配方配制,以便当它流过模腔时能减少对模腔的摩擦。基质成分中还加入增塑剂或还原剂,以调整其流变特性(黏性)。

磨粉采用不同粒度、类型和比例的磨料,对硬质合金模具和模具钢选用金刚石和碳化硼磨料。金刚石成本太高,通常使用碳化硼磨料。碳化硼在使用过程中易磨损和破碎,必须定期更换。面金刚石磨料不易磨损和破碎,当基质达到使用期限时很容易将金刚石磨料回收。

对珩磨介质要求:

1) 性能稳定,可用数百个机器小时,搁置时也不会变质。

2) 挤压珩磨时能保持加工压力。

3) 磨料能够均匀地分散在载体中。

4) 磨料不与加工零件、夹具粘在一起,易于清除。

5) 磨料具有自粘性。

6) 与被加工材料不产生化学反应。

7) 不析油,无毒性,不产生环境污染。

磨料(介质)的挤压压力为 1.4~11.2 MPa。磨料(介质)的流速为 0~189.3 L/min。珩磨工作周期取决于模腔原始表面粗糙度、模腔形状的

复杂程度、每个模子的模腔孔数、所需的最终表面粗糙度,以及抛光介质的类型和质量。

若磨料的挤压力一定,当使用给定的磨料时,其流量完全取决于模子工作带表面的金属磨削量。标准的自动化珩磨机都带有介质流量计和周期计数器,以便让操作人员选择周期时间和周期数。

如果电火花加工的电极制作不准确,或者电火花加工状态很差(例如不适当的起伏),使模腔本应该为平面却加工成曲面,以致使加工后的模子尺寸产生偏差,这是不能依靠珩磨来校准的。遇到这种情况时,采用手工抛光法把有些缺陷磨掉,最后再经挤压珩磨轻微抛光。

挤压珩磨时可能产生“尖角”和“尖刃”(其最大半径 $\leq 0.13\text{ mm}$ )。原因是珩磨时,介质流过平的表面,从模腔内磨掉少量金属,但是介质不能顺着刃边(即模腔表面相交的交线)进行抛光。

挤压珩磨中保持模腔抛磨均匀性是很重要的。对于某些形状很复杂的模子,要使介质绝对均匀流动通过所有模腔截面是很困难的。此时,大的敞开面要比小的面有更多的介质流通过,亦即意味着能抛掉更多的金属。

### 5.3 模子渗氮

在国内外铝挤压生产中,为了提高制品的表面质量和挤压模具的使用寿命,已广泛采用模子渗氮技术。模子渗氮是挤压模具修正工作中的重要部分之一。

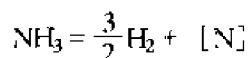
#### (1) 渗氮的基本内容

目前工厂中多采用气体碳氮共渗,就是在Fe—N系的共析温度下( $530\sim 570^\circ\text{C}$ )进行氮碳共渗的过程。渗氮层主要由 $\epsilon$ 、 $\gamma'$ 和 $\alpha$ 相组成。这种化学热处理的目的,主要是为了提高工件的耐磨性和耐疲劳性,以提高其使用寿命。这种方法的特点是工件热处理变形小,热处理时间短。有低温碳氮共渗、盐浴渗氮或活性盐浴渗氮等几种方法,而以“碳氮共渗”法应用较为普遍。气体碳氮共渗是在液体氮碳共渗工艺的基础上,为解决其环境污染问题,于20世纪70年代发展起来的一种工艺。

工厂一般采用专用的气体碳氮共渗炉,采用通氮滴醇方法。

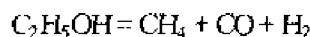
气体碳氮共渗时,一般进行以下气相反应:

#### 1) 渗氮反应



试验表明,在 $560^\circ\text{C}$ 气体氮碳共渗时,欲在2~3 h内获得约 $10\text{ }\mu\text{m}$ 白层,需使炉内压 $p_{\text{NH}_3} > 50\ 662\sim 60\ 795\text{ Pa}$ 。

#### 2) 渗碳反应(以滴乙醇为例):



3) HCN(氰)生成反应:试验表明,含氰量与醇相对加入量有关。工件进炉前若未去油会使氰含量剧增。氰含量随气体氮碳共渗时间延长而增加。

生产中采用下列措施以最大限度地减少氰含量

- ① 采用低的醇量工艺。
- ② 工件与料架进炉前应充分去油。
- ③ 提高炉子密封性。
- ④ 保证废气充分燃烧。
- ⑤ 工件出炉前必须排气,出炉开启炉盖时必须点火。

采用上述措施,可保证炉子周围含氰量低于国家标准规定的允许量( $0.3\text{ mg/in}^3$ )。

#### (2) 模子渗氮的工艺要点

1) 渗氮前准备 挤压模必须修正到使挤压产品真正满足标准要求后才能进行渗氮。模子进行渗氮前,工作带必须没有锉痕,并经过人工或挤压珩磨高度抛光。

2) 确定仅在工作带表面渗氮还是对整个模子渗氮 如果仅在工作带表面渗氮,那么就应按该模子其他表面镀铜和工作带表面抛光,然后进行渗氮,称为选择性渗氮。

对实心模,多数倾向于整个模子进行渗氮,但对薄壁的挤压比高的或者舌比达临界值的模子,仅对工作带进行渗氮。对这种类型的模子,整个模子进行渗氮是很不恰当的。如果整个模子表面进行渗氮,当模子过分挠曲时,挤压10~15个铸锭后模芯立刻发生角裂(图15.6-32)。

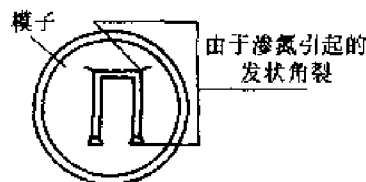


图15.6-32 渗氮表面硬化层引起的发状角裂

3) 模芯表面上的裂纹扩展 通常, 渗氮的硬层为  $0.07 \sim 0.15 \text{ mm}$ 。模芯的中心部是软的, 因此, 中心部较表面有弹性, 当在压力作用下模芯发生变形时, 其内部也跟着变形, 由于外表非常硬, 将发生裂纹 (图 15.6-33)。

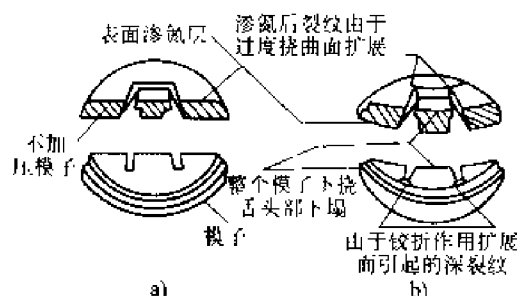


图 15.6-33 模子变形时表面渗氮层裂纹和扩展

a) 未加压 b) 加压

当工作带表面渗氮层超过  $0.15 \text{ mm}$  时, 渗氮层越深, 则工作带表面渗氮层剥落的危险性越大。当渗氮层过厚, 表面裂纹会引起工作表面剥落; 挤压时工作带温度急剧升高时也会产生表面剥落。

如图 15.6-33 所示, 模子不受压时, 模板是平的, 加压时模板发生变形, 渗氮层 (或外表面) 将发生裂纹; 在某些情况下裂纹将继续扩展, 直到模子完全破裂。

4) 空心模渗氮 对于空心模仅在工作带上进行渗氮, 因为空心模比实心模更容易产生变形。

一般, 通过单孔空心模挤压的制品比多孔空心模挤压的制品均匀, 原因在于单孔空心模变形时总是直接向前伸, 不像实心模那样由于不同悬臂和壁厚等原因而出现不均匀变形。图 15.6-34 所示为单孔空心模的变形。显然, 这种特殊的单孔空心模只产生笔直向前伸的变形。多孔空心模则不同, 模芯挠曲将会使两个芯子分开。在许多情况下, 特别是高挤压比型材需要高的挤压力。多孔空心模挤压时位于模芯中心一侧的型材壁要比位于外侧的壁厚些, 如图 15.6-35a 所示, 锥形空心模的开口尺寸是一样的; 模子一旦变形就会使型材内侧的壁比外侧的壁厚一些 (图 15.6-35b)。

如图 15.6-36a 所示, 在多孔空心模的挤压过程中模芯过分变形时, 为了避免型材产生壁厚不均, 显然, 设计或修正时应使型材模孔内侧壁比外侧壁做得薄一些; 当受压模芯发生变形时, 模芯将朝外侧偏移 (图 15.6-36b), 从而使模孔

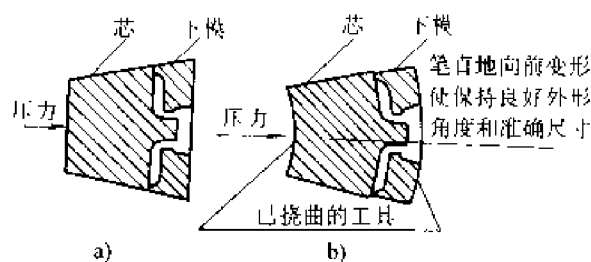


图 15.6-34 单孔空心模模芯的变形

a) 无压力 b) 有压力

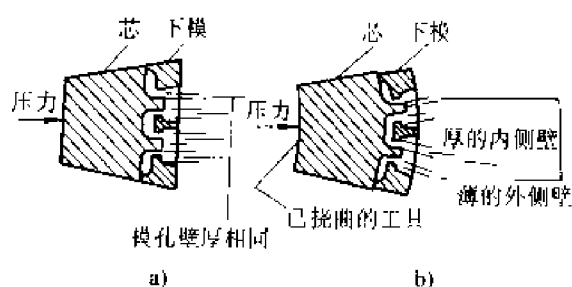


图 15.6-35 多孔空心模模芯的变形

a) 未加压 b) 加压后

内侧壁厚增加, 最终使型材内、外侧壁厚一致。以上有关空心模的挠曲和偏移的分析例子, 仅限于带有锥度型的空心模。对于其他类型的空心型, 如桥式模、腔式空心模和整体式空心模等, 其模子挠曲及所引起的模芯偏移情况更加复杂, 修正时必须具体问题具体分析, 以作出正确判断和修正。

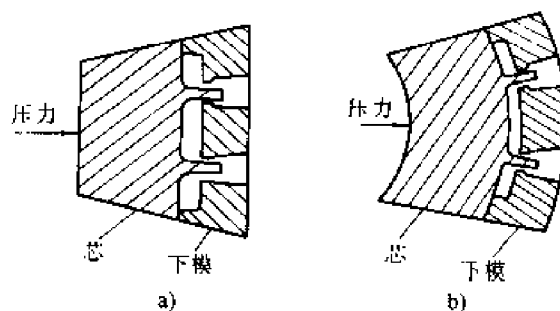


图 15.6-36 空心模模孔尺寸内侧壁应薄一些

就变形而论, 问题最小的多孔空心模是薄板式空心模和嵌入式空心模。薄板式空心模因变形而引起问题不大, 是因为模于上每个孔都是各自独立的; 而嵌入式模子的结构是各自独立地嵌入带所谓嵌入座的钢模中 (图 15.6-37)。

空心模仅在工作带表面渗氮, 否则, 在上述的变形情况下的模芯的台阶处将产生裂纹; 每挤压一次这些裂纹都会扩展, 随着裂纹的扩展, 使得模芯破裂。原因是挤压时, 由模芯中心和对着

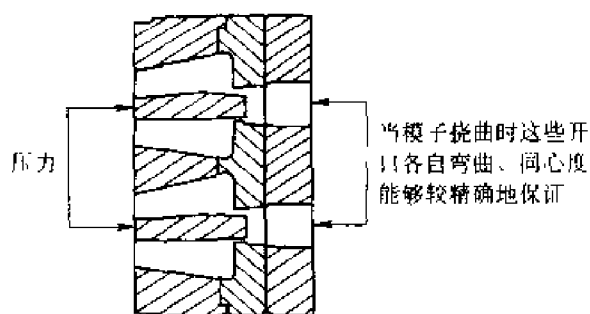


图 15.6-37 薄板式和嵌入式空心模

的下模、支承环所构成的支承之间形成剪切作用(见图 15.6-38)。对空心模仅在工作带表面渗氮,而模芯和下模仍然保持弹性,可以防止模子过早的破裂(见图 15.6-39)。

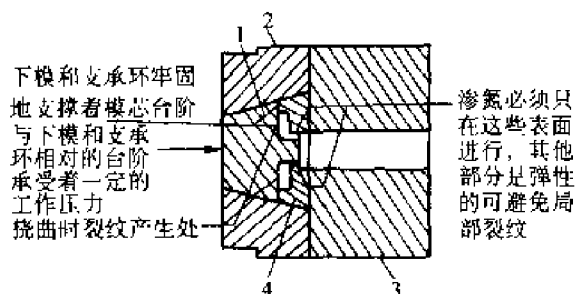


图 15.6-38 模芯挠曲变形时裂纹产生部位

1—模芯 2—模环 3—支承环 4—下模

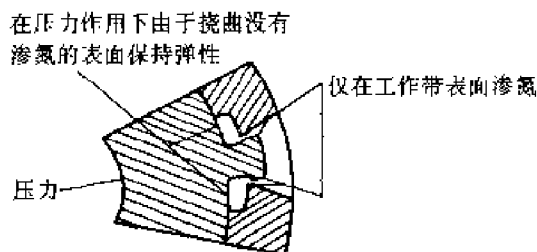


图 15.6-39 空心模仅在工作带表面渗氮

5) 模芯工作带表面经过渗氮后具有足够的硬度,能够经受挤压时长时间的热摩擦。渗氮模也有一定的挤压次数,每次挤压生产到一定的铸锭后应取下模芯,用另一个备模代替它。或者将该模卸下后立即进行清理、抛光,等模芯冷却后再装上生产。

通过渗氮的模具连续挤压的铸锭数目总是不经渗氮的多得多。通过模子所挤压的铸锭数目取决于模孔尺寸。如果是薄壁型材模,由于工作带短,挤压时很快就变热,允许通过的铸锭数目少。反之,对厚壁型材模,由于铝容易以较大体积流过工作带,工作带温度低一些,这就允许挤压较大数量的铸锭,然后卸下模芯和降温。

即使是渗氮过的模子,为了保证高效率的生产,必须有 1~4 个备用模,以提高其寿命和中断生产,以免新的修正、渗氮或者新加工模子要等很长时间。

6) 为了避免长悬臂模在渗氮时发生角裂,渗氮前必须将有开裂倾向的角部位遮盖起来,避免渗氮,使尖角处仍然保持软化,以便在较长时间内不产生裂纹(图 15.6-40)。

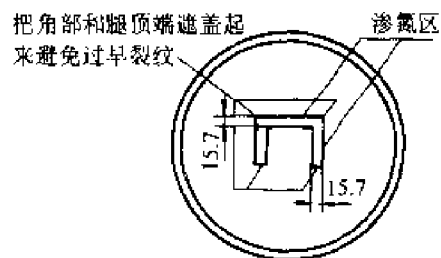


图 15.6-40 深舌模子的渗氮

## 5.4 导向装置

使用导路可以大大减少修模工作量,增加模具寿命和提高生产效率,可以减少挤压制品的扭拧、弯曲、表面擦伤,特别是多孔模采用导路就更有必要。

导路上的孔数必须与模芯孔数一致。导路上孔的形状多半与标准支承环或后环的形状一致,而且尺寸稍微大一些。有些导路做成与型材形状相一致,但这种方法用的不多。采用这种导路一般是由很多石墨块装配而成。石墨块在使用中易碎裂,要根据使用情况及时更换。最广泛使用的一种导路是用黄铜板制作的。黄铜导路一次成本较高,但长期使用不碎裂。

导向装置如图 15.6-41 所示,在多孔模特别是六孔模上使用导路,工业上叫做“隔离套管模”,可以使挤压制品保持分离,笔直地通过导路向前移动。在这段时间内型材被冷却,从而防止制品出支承环就互相粘连在一起,使制品顺利地到达出料台。

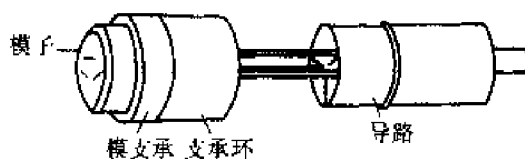


图 15.6-41 挤压导向装置示意

导路必须比压力环内孔稍小。导路长度一般

在 910 ~ 1 830 mm 范围, 根据实际需要而定。导路必须与支承环出口对准并固定牢, 并能与支承环一起运动。这样, 导路的入口将始终对准支承环或后环的出口。对导路的主要要求是其内表面应进行适当加工, 以减少余热金属的粘附, 导路可制成整体的、组合的或带冷却装置(风冷、水冷)等形式。

黄铜导路必须浸在含有石墨的溶液里, 使之饱含石墨, 这样使挤压制品与导路接触时不会产生划伤。

### 5.5 受料工作台和牵引设备

受料工作台是接收挤压后的制品, 并把它们送到输送工作台(冷床)的装置。老式水压机的受料台多是钢制辊道式。近代挤压机制品受料台有石墨板式、石墨辊式、石墨板与耐热毛毡辊相结合式。

工作台面应光滑、平直, 以防止型材表面划伤和弯曲。在型材整个长度上获得均匀的平面度和优良的表面质量, 受料工作台的状态是很重要的一环。

无论是正向挤压还是反向挤压, 采用普通工作台接送型材时存在许多问题, 如挤压制品在挤压力作用下自由向前滑动, 往往会产生擦伤、弯曲或扭拧, 特别是在多孔挤压时由于金属流速差, 制品长短不齐, 给后部工序的处理带来困难。为了克服上述缺点, 国内外的现代化挤压机都配有牵引装置。牵引装置按动力源可分为液压式、电气式和荷重式三大类型。最广泛采用的是液压式和电气式。液压式采用液压马达和电磁压力调节阀来实现施加转矩转动。电气式采用定转矩的直流电动机和直线式电动机。

在铝及铝合金民用型材的生产中, 广泛采用直线电动机作为动力源的牵引装置, 图 15.6-42 所示为日本安川电机制造的牵引机, 拉力范围为 200 ~ 1 800 N, 每 200 N 一档。

采用牵引装置有以下优点:

① 可使挤压型材不与工作面接触, 减少制品表面擦伤和划伤, 特别是有利于长度大(达 45 m)、截面复杂、壁薄的型材。

② 可以减少制品弯曲、扭拧变形和多孔挤压时的流速差, 提高成材率。

③ 减少修模次数, 提高模具寿命。

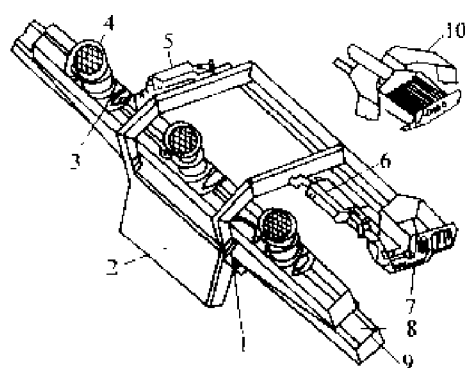


图 15.6-42 直线电机驱动型材牵引机

- 1—导轮 2—小车控制盘 3—压花调节螺母  
4—线性电动机冷却风机 5—爪激励器  
6—指激励器 7—夹持器 8—反作用板  
9—支架和导板 10—支架爪

④ 有利于实现工序自动化、系列化, 提高生产效率。

### 5.6 模子焊接

当修理热挤压用铬钢工具模具时, 在退火条件下焊接最理想, 因为退火可减少热应力引起的裂纹。修理的工件尺寸越大时, 要在较大范围内焊接, 加强保护是重要的。退火应使用温度约 840℃ 的保护箱, 且炉子要缓慢冷却。虽然可以用焊枪对要焊接的地方预热, 但很多焊件应设法在炉内预热, 使工具中心温度在 480 ~ 650℃ 之间, 防止退火过程完成过快。

气体保护电弧焊建议用于焊接那些化学成分中含铬较多的工具钢。钨极惰性气体保护焊特别适用于修复 H13 钢模。气体保护电弧焊允许使用无涂层的焊条, 焊条的选择主要取决于最终的要求。处于临界载荷的工作面要认真选择焊条, 一般使用 H13 焊条。当焊接处不重要, 或非重要性的工具, 常常使用奥氏体 18-8 不锈钢焊条。不能用气体保护电弧焊时, 常采用电弧或乙炔焊。使用这两种焊接时, 需要使用有涂层的焊条, 以利于高温的氧化造渣。

另外, 焊后的模子加热减慢冷却速度也是同样重要的。最好的措施是把模子放在隔热材料里, 如石灰石、灰堆里, 或者再把模子装入预热炉里, 在炉内缓慢冷却, 然后再进行热处理。

如模子和工具焊接不预先进行退火, 裂纹的危险会大大增加。另外, 要限制预热和焊后加热温度。

## 参考文献

- 1 М.З.Ермаков.прессование напелей из алюминийевых Сплавов.1988
- 2 Л.Е. 米列尔. 有色金属及合金加工手册. 北京: 中国工业出版社, 1965
- 3 Розанов.Б. В. ibid. 1978, №10: 1
- 4 曹乃光. 金属塑性加工原理. 北京: 冶金工业出版社, 1983
- 5 王猛等. 轻金属材料加工手册. 北京: 冶金工业出版社, 1980
- 6 刘静安. 轻合金挤压工具与模具: 上册. 北京: 冶金工业出版社, 1990
- 7 冯晓曾等. 提高模具寿命指南. 北京: 机械工业出版社, 1998
- 8 王祖堂, 田荣章. 铝合金及其加工手册. 中南大学出版社, 2000
- 9 李尚健. 锻造工艺及模具设计资料. 北京: 机械工业出版社, 1991
- 10 束德林. 金属力学性能. 北京: 机械工业出版社, 2001
- 11 胡光立, 谢希文. 钢的热处理. 西安: 西北工业大学出版社, 1996
- 12 唐志玉等. 挤塑模设计. 北京: 化学工业出版社, 1997
- 13 陈蕴博等. 热作模具钢的选择与应用. 北京: 国防工业出版社, 1993
- 14 赵云路, 刘静安. 铝型材工模具设计与生产工艺优化. 重庆: 西南铝信息中心资料, 1998
- 15 М.З.Ермаков, В.и.Фрейглия. прессование Профилей изАлюМиниЕВых Сплавов.1977
- 16 吕丽萍. 有限元法及其在锻压工程中的应用. 西安: 西北工业大学出版社, 1989
- 17 崔崑主编. 钢铁材料及有色金属材料. 北京: 机械工业出版社, 1980
- 18 刘静安. 国外铝加工技术现状与发展. 重庆: 科学技术文献出版社, 重庆分社, 1990
- 19 武恭等. 铝及铝合金材料手册. 北京: 科学出版社, 1997
- 20 王祖堂. 锻压工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1983
- 21 吕炎等. 锻件质量分析. 北京: 机械工业出版社, 1984
- 22 赵云路, 刘静安. 圆挤压筒改装成扁挤压筒试验研究, 全国第11届轻合金加工学术年会文集, 2000
- 23 肖景容. 模具计算机辅助设计与制造. 北京: 国防工业出版社, 1992
- 24 陈国良. 高温合金学. 北京: 冶金工业出版社, 1988
- 25 刘静安, 赵云路. 铝材生产关键技术. 重庆: 重庆大学出版社, 1997
- 26 李云程. 模具制造工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1992
- 27 蔡美良, 丁惠麟, 孟沪龙. 新编工模具钢金相热处理. 北京: 机械工业出版社, 1998
- 28 唐志玉等. 铝塑型材挤压成形技术. 北京: 机械工业出版社, 2000
- 29 徐进等. 模具钢. 北京: 冶金工业出版社, 1998
- 30 赵云路. 铝、铜、电缆挤压工模具专利产品定货指南. 轻合金加工技术, 2001, 8: 56